Е.Л. МАРШАК

РЕМОНТ И МОДЕРНИЗАЦИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

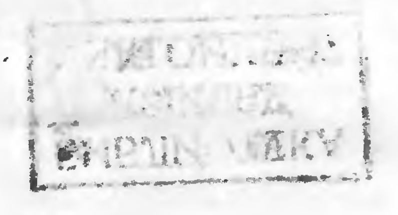


Е. Л. МАРШАК

РЕМОНТ И МОДЕРНИЗАЦИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Под редакцией Н. М. Слонима







«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1970

621.313
~~6П2.1.081~~
М ~~25~~ 3101
УДК 621.313.333.004.67+621.313.333.004.69

Маршак Е. Л.

М 25 Ремонт и модернизация асинхронных двигателей, М., «Энергия», 1970.

280 с. с илл.

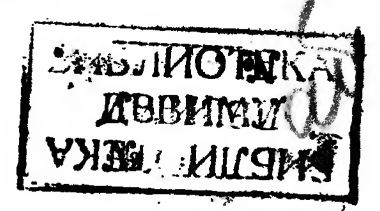
В книге рассматриваются вопросы электрического и механического ремонта, реконструкции с изменением номинальных параметров, а также модернизация различных узлов наиболее распространенных электрических машин — трехфазных односкоростных асинхронных двигателей.

Приводится описание ремонтных приспособлений и ремонтного оборудования. В доступной форме изложена методика сокращенных поверочных расчетов, а также пересчетов обмоток при ремонтах, связанных с изменением параметров электродвигателей. Приведены примеры расчетов. Освещаются основные правила составления схем обмоток.

Книга предназначена для рабочих и мастеров-обмотчиков, техников и инженеров-технологов и расчетчиков, занятых ремонтом электрических машин.

3-3-10
101-70

6П2.1.081





Маршак Евсей Львович

Ремонт и модернизация асинхронных двигателей

Редактор *И. П. Березина*
Переплет художника *П. П. Перевалова*
Технический редактор *О. Д. Кузнецова*
Корректор *И. С. Соколова*

Сдано в набор 25/XI 1969 г. Подписано к печати 27/III 1970 г. Т-06209
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 1
Усл. печ. л. 14,7 Уч.-изд. л. 15,74
Тираж 15 000 экз. Цена 94 коп. Зак. 2535

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

Глава первая

ПРИЕМКА В РЕМОНТ, РАЗБОРКА И ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Передача и приемка электродвигателей в ремонт производятся в соответствии с действующими техническими условиями, в которых регламентируются взаимные обязательства заказчика и ремонтного предприятия, определяются условия, которым должен удовлетворять электродвигатель до и после ремонта.

Согласно техническим условиям, действующим на электроремонтных предприятиях Министерства электротехнической промышленности СССР (технические условия на ремонт электрических машин переменного тока ТУ 16-519.002-67), установлено два вида ремонта: капитальный и средний.

В объем капитального ремонта входит полная разборка электродвигателя, перемотка обмотки статора или фазового ротора, перешихтовка активной стали статора, переизолировка или ремонт стержней и замыкающих колец короткозамкнутого ротора, замена или ремонт подшипников, валов, вентиляторов, контактных колец и других основных узлов и деталей электродвигателя.

В объем среднего ремонта входит подизолировка, пропитка и лакировка обмоток, замена или перепайка бандажей фазового ротора, замена или ремонт подшипников, ремонт щеточного механизма, замена или ремонт крепежных деталей.

Как правило, в ремонт принимаются комплектные электродвигатели, т. е. такие, у которых имеются все основные детали, включая старую обмотку. Электродвигатели мощностью до 100 *квт* не принимаются в ремонт, если у них разбиты корпус или подшипниковые щиты, отбито более двух лап, значительно повреждена активная сталь и величина воздушного зазора выше нормальной (по заводскому исполнению) на 25% для двухполюсных и на 15% для электродвигателей с большим числом полюсов.

Ремонт крупных электродвигателей с такими же дефектами производится только по взаимной договоренности между заказчиком и ремонтным предприятием.

Передаточные и соединительные детали (шкивы, шестерни, полумуфты) должны быть демонтированы с вала электродвигателя силами заказчика.

Все электродвигатели, поступившие на ремонтное предприятие, образуют ремонтный фонд, на складе которого они хранятся до передачи в цехи и участки предприятия. Очередность передачи со склада производится как в зависимости от даты их поступления, так и в соответствии с типами электродвигателей — подбирая однотипные электродвигатели для одновременного ремонта.

Начальным элементом ремонта являются предремонтные испытания. Следует учитывать, что некоторые электродвигатели могут быть отремонтированы без замены обмоток или с мелким, простым ремонтом обмоток или выводных концов. Не единичны случаи, когда в ремонт поступают совершенно исправные электродвигатели; их демонтаж и передача в ремонт были ошибочными, электродвигатель не вращался из-за неисправности сети или заклинивания приводимого механизма.

Выявление таких электродвигателей является одной из задач предремонтных испытаний. В объем этих испытаний входят: измерение сопротивления изоляции обмоток статора и ротора; испытание электрической прочности изоляции обмоток; проверка витковой изоляции; испытание электродвигателя на холостом ходу. Кроме того, при предремонтных испытаниях проверяется отсутствие механических повреждений, легкость проворачивания ротора, отсутствие стука, посторонних шумов, «люфтов» и чрезмерного нагрева подшипников.

Нормативы и методика проведения испытаний электродвигателей приведены в гл. 6.

В зависимости от результатов предремонтных испытаний электродвигатель подвергается среднему или капитальному ремонту.

По окончании предремонтных работ после внешней очистки и продувки электродвигателя сжатым воздухом производится измерение воздушного зазора между статором и ротором. Следует учитывать, что размер воздушного зазора оказывает существенное влияние на эксплуатационные параметры электродвигателя. Увеличение воздушного зазора влечет за собой повышение тока холостого хода, уменьшение коэффициентов мощности и полезного действия. Ориентировочно увеличение зазора на каждый процент влечет за собой увеличение тока холостого хода на 0,6% и снижение коэффициента мощности на 0,3%. Поэтому если зазор ремонтируемого электродвигателя на 20—25% больше нормального, заводского, то перед ремонтом электродвигателя его обмоточные данные должны быть пересчитаны. Мощность такого электродвигателя после пересчета практически нельзя довести до паспортной, но она все же будет больше, чем при перемотке по старым обмоточным данным. При увеличении воздушного зазора более чем на 25% экономически целесообразность ремонта весьма сомнительна.

Для мощных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при таком резком увеличении воздушного зазора предварительно производится специальный механический ремонт ротора, при котором на его поверхность путем металлизации или наплавки наносится слой стали, после чего ротор протачивается до требуемого размера [Л. 3].

Для суждения о допустимости величины зазора электродвигателей можно руководствоваться ориентировочными данными табл. 1-1.

Таблица 1-1

Зазор между статором и ротором асинхронных двигателей

Скорость вращения, *об/мин*	Зазор, *мм*, при мощности электродвигателя, *квт*				
	до 0,2	0,2—1,0	1—2,5	2,5—5,0	5,0—10,0
500—1500	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
3 000	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5

Продолжение табл. 1-1

Скорость вращения, *об/мин*	Зазор, *мм*, при мощности электродвигателя, *квт*				
	10—20	20—50	50—100	100—200	200—300
500—1500	0,4	0,5	0,65	0,8	1,0
3 000	0,65	0,8	1,0	1,25	1,5

Измерение воздушного зазора производится с двух противоположных торцов электродвигателя с помощью калиброванного щупа, вводимого через специальные или

смотровые люки в торцевых щитах. С каждой стороны измерение производится в четырех точках, сдвинутых между собой на 90°; величина зазора принимается как среднеарифметическая всех замеров.

В асинхронных двигателях также нормируется степень неравномерности зазора, определяемая как отношение зазора в данной точке к средней величине зазора. Это отклонение должно находиться в пределах 10%.

Некоторые электродвигатели не имеют люков в щитах. В таких электродвигателях измерение зазора производится после их разборки. Для этого ротор укладывается непосредственно на статор и замеряется зазор δ_1 против самой верхней части расточки статора. Вслед за тем ротор поворачивается на 90° и вновь замеряется зазор против той же точки статора δ_2. Величина зазора определяется следующим образом:

$$\delta_{ср} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{4}.$$

Способ и последовательность операций при разборке электродвигателей в значительной степени определяются их мощностью и конструкцией. Для разборки крупных электродвигателей необходимы специальный инструмент и достаточно сложные ремонтные приспособления. Для разборки электродвигателей малой и средней мощности оказывается возможным ограничиться обычным слесарным инструментом и несложными приспособлениями, которые изготовляются своими силами.

Разборка электродвигателей слагается из следующих операций.

Снятие с вала передаточных и соединительных деталей (полумуфт, шестерен, шкивов). Следует отметить, что, как правило, электродвигатели должны приниматься в ремонт с демонтированными передаточными или соединительными деталями. Но это правило не всегда выдерживается, так как в некоторых случаях у заказчика нет технической возможности демонтировать эти детали.

Большое значение имеет степень напряженности посадки сопряженных деталей на вал электродвигателя. Слабая посадка деталей вызывает повышенную вибрацию электродвигателя, из-за которой посадочные поверхности на валу и в сопряженных деталях разбиваются, слабина посадки увеличивается и вибрация повышается в такой степени, что это может привести к аварии элек-

тродвигателя. Чрезмерно тугая посадка затрудняет снятие деталей с вала и может привести к повреждению посадочных поверхностей.

Перед снятием детали следует отвернуть стопорный винт или выбить шпонку, фиксирующую деталь на валу. Место посадки рекомендуется залить керосином.

Для снятия деталей, насаженных на вал, применяются двух- или трехлапчатые винтовые съемники; на рис. 1-1 показан способ снятия деталей (шкива) при помощи двухлапчатого съемника.

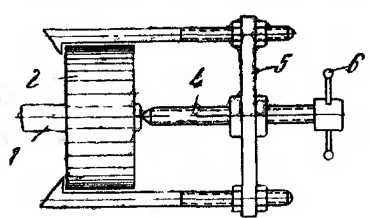


Рис. 1-1. Снятие шкива двухлапчатым съемником.

1 — вал; *2* — шкив; *3* — лапы съемника; *4* — винт съемника; *5* — скоба; *6* — рукоятка.

Несмотря на широкое распространение, съемники этой конструкции неудобны из-за большого веса и неустойчивого положения их при затяжке винта *4*. При пользовании съемником из-за необходимости поддерживать его лапы *3* требуется три человека.

Более совершенным является съемник, показанный на рис. 1-2, применяемый для снятия полумуфт, шкивов или шестерен, имеющих аксиальные отверстия. Как видно из рис. 1-2, траверса съемника *2* с помощью болтов *4* скрепляется с демонтируемой деталью *1*, вследствие чего отпадает надобность поддержки съемника при затяжке его винта *3*. Для предотвращения проворачивания ротора при затяжке винта одно плечо траверсы упирается в подставку из раздвижных труб *5*. Конструкция съемника обеспечивает центричность его положения по отношению к демонтируемой детали.

Для крупных электродвигателей, где усилие, требуемое для снятия деталей с вала, может быть очень велико, вместо винтовых съемников применяются гидросъемники, в которых необходимое усилие создается гидропрессом, работающим от электродвигателя.

В некоторых случаях для облегчения съема деталей прибегают к их подогреву. Чтобы при этом вал сильно не прогревался, следует подогрев вести интенсивно, одной-двумя автогенными горелками не ниже пятого номера. Чтобы предотвратить возникновение внутренних напряжений при подогреве деталей, вал, на который насажена деталь, следует обернуть асбестовым картоном, смоченным в воде. Прогрев самой детали нужно начать

с ее краев, далее прогреть дисковую часть детали и, наконец, ее ступицу. Деталь достаточно нагреть до 250° С, контролируя температуру нагрева периодическим прикосновением прутка из олова, который при указанной температуре начинает плавиться. Очень эффективным является прогрев детали токами высокой частоты. При этом способе вал почти совершенно не нагревается.

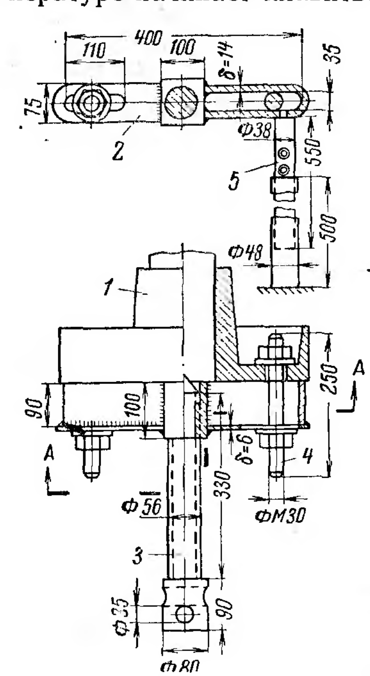


Рис. 1-2. Снятие деталей съемником с траверсой.

1 — демонтируемая деталь; *2* — траверса; *3* — винт; *4* — болты для крепления траверсы; *5* — подставка из раздвижных труб.

Применение подогрева, помимо облегчения съема, обеспечивает сохранность посадочных поверхностей вала и детали, которые при съеме без подогрева и особенно при перекосе съемника можно повредить.

Съем подшипниковых щитов. Для съема щитов предварительно выполняются следующие работы:

1. Электродвигатели малой мощности, небольшого веса устанавливаются на верстак с вращающимся диском. Если электродвигатель имеет наружный вентилятор, то отвертываются гайки, крепящие кожух вентилятора, и снимается кожух. Для съема пользуются такими же приспособлениями, как и для съема соединительных и передаточных деталей. В электродвигателях, имеющих шариковые или роликовые подшипники, встроенные в торцевые щиты, освобождаются крепления и снимаются крышки подшипников. Зазор между крышкой подшипника и валом должен быть в пределах 0,3—0,7 *мм*.

2. Отсоединяются провода от щеточного устройства, вынимаются щетки из щеткодержателей или поднимаются щеткодержатели, если по конструкции этого узла они могут подниматься.

3. Снимаются с вала с помощью съемников контактные кольца, если они вынесены за пределы щита и нуждаются в замене или ремонте из-за износа или повреждения.

Ремонт или замена контактных колец производится, если имеются подгары или подплавления рабочей поверхности колец, а также если радиальное биение рабочей поверхности или разность диаметров отдельных колец превышает 1% диаметра колец.

В электродвигателях мощностью до 100 *квт* кольца подлежат безусловной замене, если вследствие износа расстояние между рабочей поверхностью кольца и отверстием для токоподвода достигнет предельной величины; для контактных колец, у которых отношение внутреннего диаметра к внешнему равно или больше 0,75, это минимально допустимое расстояние приведено в табл. 1-2.

Таблица 1-2

Минимально допустимое расстояние до рабочей поверхности контактного кольца

Наружный диаметр контактного кольца (до износа), *мм*	Минимально допустимое расстояние между рабочей поверхностью контактного кольца и отверстием для токоподвода, *мм*	
	$2p=2$	$2p>2$
До 100	10	3
101—150	15	5
151—200	20	4

Если отношение внутреннего и наружного диаметров меньше 0,75, то указанное минимально допустимое расстояние составляет:

$$d = \frac{0,5D_{вн}}{p^2\left(\frac{1+\alpha^2}{1-\alpha^2}+0,3\right)},\ мм,$$

где $D_{вн}$ — внутренний диаметр контактного кольца, *мм*; α — отношение внутреннего и наружного диаметров контактного кольца; p — число пар полюсов.

Для крупных электродвигателей, где наружный диаметр контактных колец превышает 200 *мм*, предельный износ колец определяется специальным механическим расчетом.

4. Фиксируется отметками положение подшипникового щита относительно станины статора и вывертыва-

ются болты, крепящие щит к станине. Для электродвигателей с контактными кольцами целесообразно сначала снять щит с передней стороны электродвигателя, так как в переднем щите размещается щеточное и короткозамыкающее устройство.

Для съема щита его равномерно отводят отжимными болтами до тех пор, пока щит не выйдет из центрирующей заточки станины. Если по конструкции электродвигателя отжимные болты не предусмотрены, щит следует снимать винтовыми или гидравлическими стяжками. В некоторых электродвигателях, в том числе у электродвигателей единой серии, подшипниковый щит выводится из заточки статора рычагом, вводимым в отверстие между торцом станины и краем щита.

Нежелательно снимать щит путем забивки зубила в стык между станиной и краем щита; при этом можно легко повредить посадочные поверхности и торцы центрирующих заточек станины и щита. Кроме того, при таком способе съема всегда может получиться перекос щита, из-за чего могут повредиться беговые дорожки и шарики или ролики подшипников качения.

Перекос ротора по отношению к статору получается также после съема одного щита, когда ротор ложится на сердечник статора. Поэтому в крупных электродвигателях перед съемом щита необходимо под конец вала установить домкрат или подвесить конец вала на таль или кран, заложить в нижнюю часть расточки подкладку из электрокартона и только затем освободить конец вала от домкрата или тали.

Щиты электродвигателей малой мощности обычно снимаются вручную, но при этом также необходимо предохранить ротор от перекоса по отношению к статору. После снятия переднего щита проверяют и отмечают взаиморасположение пакета стали статора по отношению к пакету ротора, после чего снимают задний щит.

Вывод ротора из расточки статора. Эта операция является одной из ответственных ремонтных операций, так как даже незначительное задевание ротора за сердечник или обмотку статора может привести к серьезным повреждениям.

Вес роторов крупных электродвигателей достигает нескольких тонн, и вывод ротора должен поручаться лицам, имеющим достаточный опыт такелажных работ. Подъемные приспособления должны быть проверены, работа должна производиться при строгом соблюдении всех правил техники безопасности.

Выемка роторов электродвигателей малой мощности производится вручную, без применения каких-либо приспособлений. Способы и приемы выемки роторов электродвигателей средней и большой мощности зависят от конструкции электродвигателя, веса его ротора, а также от вида располагаемых подъемных приспособлений.

Очень распространен способ выемки роторов электродвигателей средней мощности при помощи удлинителя — толстостенной трубы, насаживаемой на конец вала. При выемке ротора электродвигатель устанавливается в строго горизонтальном положении. Строп, длина которого должна быть в 4—5 раз больше длины вала, накидывается на конец вала и на удлинитель и подвешивается на крюк, как это указано на рис. 1-3.

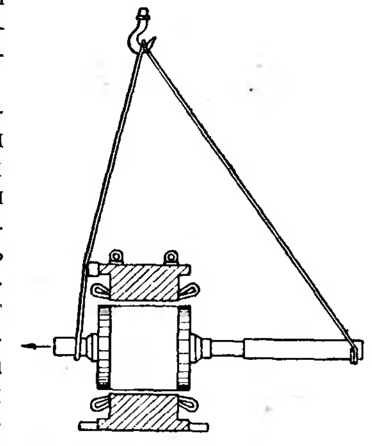


Рис. 1-3. Выемка ротора при помощи удлинителя.

Для предохранения стропа от проскальзывания при его натяжении, при котором может получиться резкий крен ротора, строп накладывается не на ровную часть вала, а на то место, где имеется ступенька — переход от одного диаметра вала к другому. Для этой же цели на удлинителе приваривается специальное упорное кольцо, а подвеска на крюк проводится петлей с «удавкой».

Строп не должен располагаться на шейке вала, касаться вентилятора, контактных колец и обмотки. Если лобовые части обмотки статора выступают из корпуса, то между стропом и корпусом прокладывается предохранительный деревянный брусок. После подвески стропа каждая его ветвь регулируется таким образом, чтобы при пробном натяжении стропа ротор находился в строго горизонтальном положении. Затем с помощью крана ротор приподнимается и сдвигается в сторону, указанную на рис. 1-3 стрелкой, до того положения, пока строп не подойдет близко к лобовой части обмотки статора.

Свободный конец вала опускается на заранее подготовленную шпальную выкладку, а конец ротора со стороны удлинителя — на сердечник статора, защищенный прокладкой из электрокартона. После этого производится перестропливание; строп набрасывается на крюк и на бочку ротора по центру тяжести ротора. Нахождение центра тяжести производится передвижением стропа по ротору с последующим натяжением стропа до того положения, когда подвешенный ротор будет находиться в строго горизонтальном состоянии.

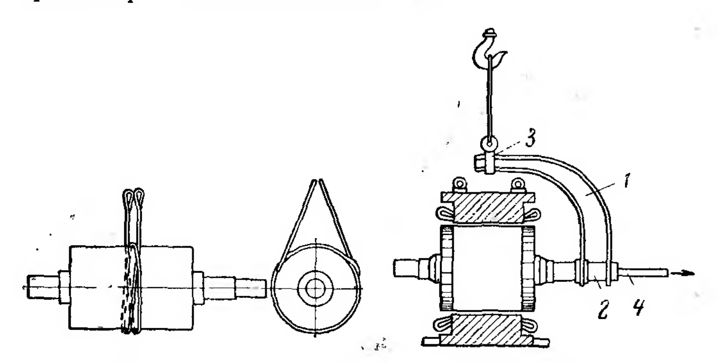


Рис. 1-4. Выемка ротора при помощи скобы.
1 — скоба; *2* — ступица скобы; *3* — передвижная серьга; *4* — хвостовик.

После выверки натяжения стропа ротор окончательно выводится из расточки статора.

В течение всего времени вывода ротора должен просвечиваться и просматриваться воздушный зазор.

Описанный способ выемки ротора нельзя признать совершенным: требуется много времени для выравнивания стропа и перестропливания, не исключается возможность случайного проскальзывания стропа по валу, удлинителю или по крану. Более совершенным является способ выемки ротора при помощи скобы, насаживаемой своей ступицей на вал ротора (рис. 1-4).

Для выемки ротора серьга *3* устанавливается на скобе *1* в таком положении, чтобы при натяжении троса ротор находился в горизонтальном положении и не касался статора. Небольшая регулировка положения ротора производится хвостовиком скобы *4*.

При отсутствии стационарно смонтированного крана или другого подъемного устройства применяется способ

выемки ротора при помощи переносного приспособления, устанавливаемого на корпус электродвигателя (рис. 1-5). Приспособление состоит из двух швеллерных балок, обращенных друг к другу своими широкими сторонами и скрепленных между собой с промежутком в 40—60 *мм* болтами с дистанционными втулками.

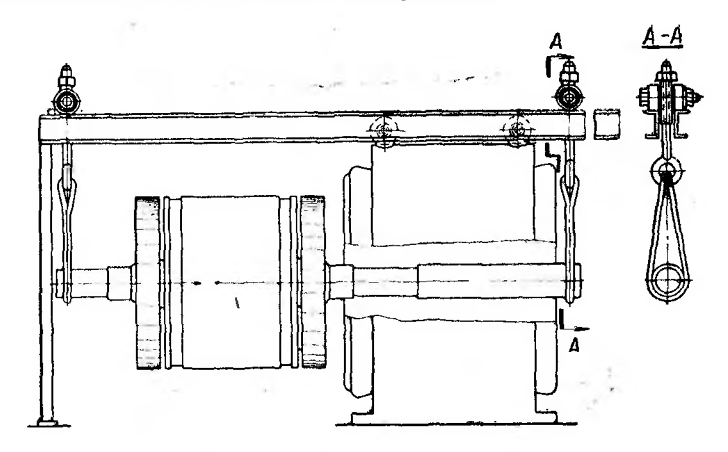


Рис. 1-5. Переносное приспособление для разборки электродвигателя.

Для крепления балок к электродвигателю используются рымы электродвигателя или отверстия для крепления торцевых щитов станины электродвигателя. Под длинный конец балок подводится упорная стойка. В промежутке между балками помещаются два винтовых домкрата, могущих перемещаться вдоль балки. Способ выемки ротора ясен из рис. 1-5. Очень важно соблюсти строгую горизонтальность положения балки во избежание самопроизвольного перемещения ротора, что может привести к повреждению ротора и даже вызвать несчастный случай.

Приспособление является в достаточной степени универсальным, пригодным для ремонта электродвигателей в широком диапазоне мощностей, а при дополнительной подвеске к балке талей оно может быть использовано также и для снятия торцевых щитов.

Вывод роторов крупных электродвигателей с выносными подшипниковыми стойками производится следующим способом.

Вывертываются болты, крепящие подшипниковую стойку к фундаментной плите. Со второй подшипниковой стойки снимается крышка и удаляется верхняя половина вкладыша подшипника. Вслед за тем ротор застропливается за концы вала и слегка приподнимается так, чтобы можно было вынуть нижний вкладыш из второй подшипниковой стойки, строп натягивается и ротор вместе с подвешенной к его концу подшипниковой стойкой сдвигается вдоль расточки статора до того положения, пока строп не подойдет близко к обмотке статора. После этого ротор опускают одной стороной на сердечник статора, защищенный прокладкой из электрокартона, и другой — на подшипниковую стойку. Далее производится перестропливание — строп набрасывается на крюк и на бочку ротора по его центру тяжести, после чего ротор окончательно выводится из расточки статора.

Вывод длинных тяжелых роторов (обычно роторов двухполюсных турбоэлектродвигателей) производится также с помощью специальной тележки. Так же как и в предыдущем случае, вывертываются болты и освобождается одна из подшипниковых стоек, снимается верхняя крышка и удаляются вкладыши подшипника второй стойки, ротор слегка приподнимается и сдвигается в сторону до предельно возможного положения. Далее в нижнюю часть расточки закладывается стальной лист, выгнутый по форме расточки. Другой стальной лист, смазанный маслом, подкладывается под подшипниковую стойку, висящую на валу, а на свободный конец вала насаживается тележка. Затем ротор опускают так, чтобы он одной стороной опирался на тележку, катки которой устанавливают на стальной лист, а другой—на подшипниковую стойку. Окончательный вывод ротора производится при помощи лебедки, трос от которой закрепляется за подшипниковую стойку. При натяжении троса подшипниковая стойка скользит по подложенному под нее стальному листу, а тележка катится по листу, уложенному в расточку.

Следует отметить, что описанный способ применим для выемки роторов электродвигателей, воздушный зазор которых не менее 3 *мм*.

Снятие с вала подшипников качения. Роликовые и шариковые подшипники снимаются с вала и заменяются в случае их износа, т. е. при появлении радиальных и осевых зазоров, а также язвин на поверхностях тел качения (шариков, роликов) и на беговых дорожках.

Радиальные зазоры в подшипниках качения измеряются щупом, вводимым между телом качения и обоймой подшипника. Допустимые величины зазоров приведены в табл. 1-3.

Таблица 1-3

Допустимые радиальные зазоры

Диаметр вала, *мм*	Минимальный зазор, *мм*		Максимальный зазор, *мм*	
	шариковые подшипники	роликовые подшипники	шариковые подшипники	роликовые подшипники
20—30	0,005	0,01	0,10	0,10
35—50	0,01	0,02	0,15	0,15
55—80	0,015	0,03	0,20	0,20
85—120	0,02	0,04	0,30	0,30

Осевой зазор в подшипниках качения не должен превышать 0,2—0,35 *мм*.

Снимают подшипники с вала винтовыми и гидравлическими съемниками, прикладывая необходимые для этого усилия к внутреннему кольцу подшипника. При правильной конструкции подшипникового узла, предусматривающей возможность надежного захвата подшипника, съем его с вала не представляет трудности. Однако не все электродвигатели выпускаются с учетом возможности легкого демонтажа подшипников; иногда этот демонтаж затрудняется из-за чрезмерно высокого упорного буртика на шейке вала, близко расположенного вентилятора и т. д. В этих случаях для съема подшипника приходится специально изготовлять приспособления, конструкция которых определяется особенностями посадки подшипника. Для облегчения съема иногда бывает целе-

Таблица 1-4

Допустимые радиальные зазоры

Диаметр вала, *мм*	Зазор, *мм*, при скорости вращения, *об/мин*		
	до 1 000	1 000—1 500	свыше 1 500
18—30	0,04—0,093	0,06—0,13	0,14—0,28
30—50	0,05—0,112	0,075—0,16	0,17—0,34
50—80	0,065—0,135	0,095—0,195	0,2—0,4
80—120	0,08—0,16	0,12—0,235	0,23—0,46
120—180	0,1—0,195	0,15—0,285	0,26—0,52
180—260	0,12—0,225	0,18—0,30	0,3—0,6
260—360	0,14—0,25	0,21—0,38	0,34—0,68
360—500	0,17—0,305	0,25—0,44	0,38—0,76

сообразным прибегать к подогреву подшипников до 100—120° С.

Изменение диаметра шейки вала Δd при подшипниках качения должно находиться в пределах, приведенных на рис. 1-6.

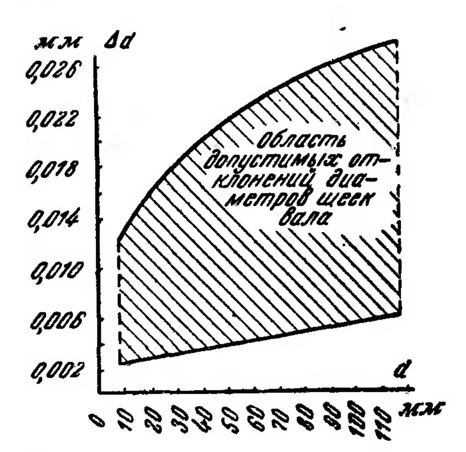
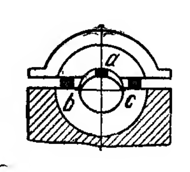


Рис. 1-6. Допустимые пределы отклонений диаметров шеек вала.
d — диаметр вала.

Разборка подшипников скольжения. В отличие от подшипников качения разборка подшипников скольжения не требует каких-либо специальных приспособлений, а сам процесс разборки не представляет каких-либо сложностей.



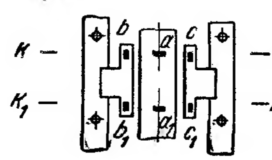


Рис. 1-7. Измерение зазоров между шейкой вала и вкладышем.

Допустимые радиальные зазоры в подшипниках скольжения приведены в табл. 1-4.

В подшипниках с неразъемными вкладышами верхний зазор между шейкой вала и вкладышем измеряется щупом, который по возможности следует вводить на всю длину вкладыша. Подлежат замеру также боковые зазоры, величины которых не должны превосходить половины зазора в верхней части.

В подшипниках с разъемными вкладышами зазоры определяются по оттискам отрезков свинцовой проволоки, укладываемых на поверхность шейки вала и получаемых при затяжке верхней крышки подшипников (рис. 1-7).

Зазор по линии K—K определяется:

$$\delta_1 = a - \frac{b+c}{2}.$$

Зазор по линии K_1—K_1 определяется:

$$\delta_2 = a_1 - \frac{b_1+c_1}{2},$$

где a, b, c, a_1, b_1 и c_1 — толщины оттисков проволоки, замеренные микрометром после разборки подшипников.

Величины δ_1 и δ_2 не должны отличаться друг от друга более чем на 10%.

Допустимые осевые зазоры (осевой разбег вала) должны находиться в пределах, указанных в табл. 1-5.

Таблица 1-5

Допустимые осевые зазоры

Мощность электродвигателя, *квт*	Осевой зазор, *мм*	
	для новых и перезалитых подшипников	для бывших в эксплуатации подшипников, не подвергавшихся перезаливке
До 10	0,4—0,5	1
10—20	0,5—0,75	1,5
20—40	0,75—1,0	2
40—80	1,0—1,5	3
80—160	1,5—2	4
160—500	2—2,5	5

Уменьшение диаметра шейки вала вследствие износа и переточек допускается в пределах 5% номинального диаметра. Овальность и конусность могут быть в пределах допуска на посадку.

Выемка обмотки. Для облегчения удаления обмотки из пазов статоры электродвигателей после их наружной очистки и продувки сжатым воздухом помещаются в герметически закрытую электропечь, в которой автоматически поддерживается температура 350—400° С, и выдерживаются в ней в течение 4—6 *ч*. При этой операции клинья, пазовая и витковая изоляция почти полностью

теряют свою механическую прочность и обмотка легко, по частям, извлекается из пазов. Несоблюдение режима выжига может повлечь пережог меди и даже местные оплавления корпуса и конструктивных деталей электродвигателя.

При отсутствии электропечи или при невозможности поместить в нее статор электродвигателя большого размера допускается выжиг изоляции при нагреве обмотки током от низковольтного трансформатора. В этом случае в процессе нагрева обмотки необходимо тщательно контролировать температуру активной стали, не допуская ее нагрева сверх 400° С.

Также допустимо производить разрушение изоляции обмотки химическим способом, погружая статоры в ванну с 10%-ным раствором едкого натра (каустической соды), подогретым до 80—90° С, выдерживая их в ванне до разложения клеящего состава и распадения самой изоляции с последующей промывкой статоров в проточной воде. В случаях, когда не предполагается повторное использование обмоточного провода, лобовые части катушек обрезаются на токарном станке или обрубаются электрическим или пневматическим зубилом.

После наружной очистки роторов с фазовой стержневой обмоткой, продувки их сжатым воздухом и снятия бандажей производят распайку и снятие хомутиков со стержней, отгибку (выпрямление) лобовых частей стержней верхнего слоя обмотки со стороны контактных колец, маркировку стержней и пазов, удаление стержней верхнего слоя, а затем отгибку лобовых частей, маркировку и удаление стержней нижнего слоя обмотки.

После удаления обмотки статоры и роторы крупных электродвигателей очищаются от грязи и масла путем двух-трехкратной протирки тряпками, смоченными в бензине. Статоры и роторы электродвигателей малой и средней мощности, а также все комплектующие и крепежные детали подвергаются мойке, для чего они закладываются в корзину (контейнер) и на 10—15 *мин* опускаются в ванну с 1,5—3%-ным раствором кальцинированной соды с последующей промывкой в ванне с проточной горячей водой.

Более эффективной является мойка в специальных моечных машинах, в которых моечный состав интенсивно перемешивается сжатым воздухом.

В процессе разборки электродвигателя все детали, снятые со статора и ротора, помещаются в комплектовочный ящик, к которому прикрепляется металлическая бирка с указанием ремонтного номера (заказа) электродвигателя. Бирки также прикрепляются к статору, ротору и к каждому из подшипниковых щитов.

При всех операциях по разборке электродвигателя, а также при выемке обмоток производится дефектирование — осмотр всех частей электродвигателя с целью определения их состояния и необходимости ремонта или замены, определение электрических обмоточных данных, снятие размеров, необходимых для производства расчетов или перерасчетов для случая ремонта с изменением номинальных параметров. Все данные заносятся в дефектировочную ведомость.

Глава вторая

СХЕМЫ ОБМОТОК

2-1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В трехфазных асинхронных двигателях — электрических машинах, преобразующих электрическую энергию в механическую, имеются две обмотки. Одна обмотка, назначение которой заключается в образовании вращающегося магнитного поля, располагается в пазах сердечника статора и подключается к сети переменного тока. Перемещаясь относительно второй обмотки — проводников, расположенных в пазах ротора, вращающееся магнитное поле индуцирует в этих проводниках э. д. с. Так как в нормальных условиях работы обмотка ротора замыкается накоротко или на некоторое сопротивление либо по своей конструкции является короткозамкнутой, то индуцируемая в обмотке э. д. с. вызывает в ней ток.

Взаимодействуя с магнитным потоком статора, ток обмотки ротора создает момент вращения на валу электродвигателя.

Чтобы обеспечить требуемые параметры электродвигателя — скорость вращения, номинальное напряжение, ток, к. п. д. и др., необходимо правильно выбрать сечение и количество проводников, закладываемых в пазы статора и ротора, и правильно соединить их между собой.

Чертеж, показывающий в условной форме, как надо производить это соединение, называется с х е м о й о б м о т к и.

При перемотке электродвигателя, связанной как с сохранением, так и с изменением параметров, задача составителя схемы заключается в том, чтобы не только правильно соединить все элементы обмотки, т. е. все провода, заложенные в пазы, но и выбрать из всех возможных схем ту, которая для данного случая является оптимальной.

Общие требования, предъявляемые к обмоткам электродвигателей, следующие:

1. Вращающееся магнитное поле, создаваемое обмоткой статора, должно иметь синусоидальный характер изменения в пространстве, так как при этом обеспечивается спокойная работа и уменьшаются потери и нагрев электродвигателя. Значительное отклонение кривой поля от синусоиды может привести к непроизвольному торможению при пуске короткозамкнутого электродвигателя.

2. Фазные напряжения должны быть одинаковыми по величине и сдвинуты относительно друг друга на строго определенный угол, зависящий от числа фаз обмотки.

Для трехфазной системы этот угол должен быть равен 120 *эл. град* (один геометрический градус составляет p электрических градусов).

3. Активные и индуктивные сопротивления каждой из фаз должны быть одинаковыми, причем активные сопротивления по возможности — наименьшими для уменьшения тепловых потерь в меди обмотки.

4. Параллельные ветви в фазах обмотки, если такие необходимы по расчету, должны быть идентичными, т. е. обладать одинаковыми электрическими свойствами — иметь одинаковое число витков, одинаковое сопротивление и располагаться в одинаковых магнитных условиях, вследствие чего в каждой из параллельных ветвей будет индуктироваться одинаковая по величине э. д. с.

5. Схема должна обеспечивать наиболее простое и экономичное технологическое решение заготовки элементов обмотки и ее монтажа.

6. Схема должна обеспечивать возможность качественного исполнения самой обмотки и ее крепления.

Исходным элементом, из которого составляется схема обмотки, является катушка, состоящая из одного или нескольких последовательно соединенных витков. В и т к о м называется элемент, состоящий из двух последовательно соединенных между собой проводников, расположенных под соседними разноименными полюсами. Виток может быть подразделен на несколько параллельных проводов. К подразделению витка прибегают из технологических соображений удобства намотки во избежание применения грубого провода большого сечения, а также с целью уменьшения дополнительных потерь в меди обмотки, которые при переменном токе снижаются в пучке параллельных изолированных друг от друга проводников по сравнению с одним проводом эквивалентного сечения.

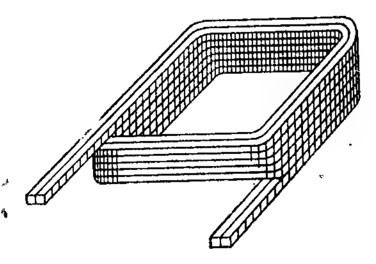


Рис. 2-1. Катушка из шести витков, намотанных двумя проводами.

На рис. 2-1 изображена катушка, состоящая из шести последовательно соединенных витков, причем каждый виток подразделен на два параллельных провода.

Части катушки, лежащие в пазах активной стали, называются п а з о в ы м и или а к т и в н ы м и ч а с т я м и к а т у ш к и, так как они пронизываются магнитным потоком и непосредственно участвуют в создании э. д. с. Проводники, лежащие вне пазовой части и служащие для соединения между собой активных частей катушки, называются л о б о в ы м и ч а с т я м и к а т у ш к и.

Исполнение и форма пазовой и лобовой частей катушек зависят от типа обмотки и рассматриваются ниже.

Катушка, помимо определенного числа витков, характеризуется также своим ш а г о м, т. е. ч и с л о м п а з о в ы х д е л е н и й, заключенных между осями пазов, в которые закладываются стороны катушки.

Шаг катушки y называют д и а м е т р а л ь н ы м, если он равен полюсному делению τ, выраженному в пазовых делениях. В этом случае

$$y = \tau = \frac{z}{2p},$$

где z — число пазов статора или ротора;

$2p$ — число полюсов обмотки.

Полюсное деление можно также представить как длину части окружности, приходящейся на долю одного полюса, по формуле

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}, \; мм,$$

где D — диаметр расточки статора или наружный диаметр ротора, *мм*.

В двухполюсной электрической машине центральный угол, соответствующий полюсному делению, составляет 180°, в четырехполюсной — 90°, а в шестиполюсной — 60° и т. д.

При составлении схем обмоток принято при любом числе полюсов машины считать угол, соответствующий полюсному делению, равным 180 *эл. град.*

Тогда число электрических градусов в окружности статора электрической машины с любым числом полюсов будет равно $180 \cdot 2p$.

Шаг катушки может быть несколько меньше диаметрального; в этом случае его называют укороченным.

Укорочение шага катушки (обмотки) характеризуется коэффициентом укорочения

$$\alpha = \frac{y_z}{\tau},$$

где y_z — укороченный шаг обмотки.

Для примера возьмем статор электрической машины, имеющий 60 пазов. Для образования четырехполюсной обмотки полюсное деление τ, а также диаметральный шаг y равны 15, т. е. если одна сторона катушки закладывается в паз статора, который условно обозначается № 1, то другая сторона этой катушки должна быть заложена в паз № 1+15=16.

Если же вторую сторону катушки заложить в паз № 14, т. е. применить укороченный шаг, равный 13, то коэффициент укорочения шага будет:

$$\alpha = \frac{13}{15} = 0,87,$$

т. е. шаг составит 87% диаметрального.

Несмотря на то что укорочение шага влечет за собой уменьшение э. д. с., индуктируемой в катушке (так как обе стороны витка при укороченном шаге не могут одновременно находиться на осях соседних полюсов), оно широко применяется в обмотках электродвигателей переменного тока.

Помимо экономии меди из-за уменьшения длин лобовых частей, укорочение шага обмотки улучшает электрические свойства двигателя путем снижения так называемых высших гармонических, которые неблагоприятно сказываются на форме поля э. д. с. и увеличивают дополнительные потери в меди обмотки.

В различных типах обмотки, исходя из условий электромагнитного расчета и технологических соображений, применяют укорочение шага обычно от 0,85 до 0,75, реже до 0,66, а в отдельных случаях и до 0,5.

Шаг обмотки может быть также больше диаметрального. В этом случае его называют удлиненным. Применяется удлиненный шаг в специальных случаях, главным образом в обмотках роторов асинхронных двигателей, о чем указывается ниже.

Характерным показателем каждой обмотки статора электрической машины переменного тока является q — число пазов на полюс и фазу. Это число показывает, сколько катушечных сторон каждой фазы приходится на один полюс обмотки. Поскольку катушечные стороны одной фазы, лежащие под двумя соседними полюсами обмотки, образуют катушечную группу, то число q показывает, из скольких катушек состоят катушечные группы данной обмотки.

Таким образом,

$$q = \frac{z}{2pm},$$

где m — число фаз обмотки.

Для рассматриваемых нами трехфазных обмоток

$$q = \frac{z}{6p}.$$

Для вышеприведенного примера, где $z=60$, а $2p=4$,

$$q = \frac{60}{6 \cdot 2} = 5.$$

Если же статор этой машины использовать для изготовления восьмиполюсной машины, то

$$q = \frac{60}{6 \cdot 4} = 2,5,$$

т. е. число пазов на полюс и фазу будет дробным.

Из условий симметрии обмотки следует, что все три ее фазы должны иметь одинаковое количество катушек, симметрично расположенных по окружности статора. Именно в этом случае суммарные э. д. с. фаз обмотки

будут равны по величине и сдвинуты между собой на 120 или 240°.

Катушки должны быть соединены в катушечные группы, а последние — в фазы так, чтобы обеспечить необходимое количество полюсов обмотки и правильное их чередование.

Катушки внутри катушечной группы соединяются между собой всегда последовательно, а катушечные группы в фазе могут быть соединены последовательно, параллельно или смешанным способом (последовательно-параллельно). При последовательном соединении катушечные группы соединяются либо одноименными концами (т. е. конец предыдущей катушечной группы с концом последующей катушечной группы и т. д.), либо разноименными концами (т. е. конец предыдущей катушечной группы с началом последующей катушечной группы и т. д.). Способ соединения групп зависит от типа обмотки и указывается ниже при непосредственном рассмотрении схем различных типов обмоток.

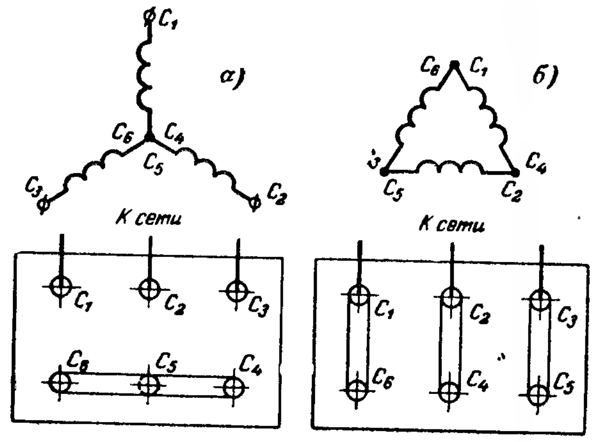


Рис. 2-2. Соединение фаз обмотки электродвигателя на 220/380 *в*.

а — в звезду на 380 *в*; *б* — в треугольник на 220 *в*.

Основным правилом при применении параллельного или смешанного соединения групп является сохранение направления тока в катушечных группах таким же, как это имело бы место при последовательном соединении,

в котором направление токов определяется чередованием полюсности обмотки.

И, наконец, на схеме требуется указать способ соединения фаз обмотки — в звезду или в треугольник. Каким из этих способов должны быть соединены фазы, определяют расчетом обмотки.

Для одного и того же номинального напряжения, для различных машин могут применяться как один, так и другой способ. Само соединение фаз может быть выполнено как внутри машины, глухо, либо, как это делается для обмотки статоров, при помощи перемычек на специальном щитке, вынесенном на корпус электродвигателя. Последний способ удобен тем, что позволяет более четко проводить профилактические испытания обмотки в процессе эксплуатации, так как начала и концы всех фаз могут быть свободно присоединены к испытательной аппаратуре.

На рис. 2-2 показаны принципиальные схемы соединения фаз обмотки и соответствующие этим соединениям переключения, производимые на внешнем щитке для асинхронного двигателя на номинальные напряжения 220/380 *в*.

По способу расположения в пазах обмотки подразделяются на о д н о с л о й н ы е и д в у х с л о й н ы е.

При однослойной обмотке каждая сторона катушки занимает весь паз, при двухслойной обмотке сторона катушки занимает по высоте только половину паза, т. е. в каждый паз закладываются две стороны катушки, образуются два слоя обмотки.

Из сказанного следует, что при однослойной обмотке число катушек равно половинному числу пазов, а при двухслойной — полному числу пазов.

В современном электромашиностроении применяются как однослойные, так и двухслойные обмотки, и каждому из этих видов присущи свои достоинства и недостатки. Так, например, однослойные обмотки статора применяются в электродвигателях единой серии А и АО до 5-го габарита включительно. В этих обмотках в противоположность двухслойным отсутствует изоляционная прокладка в середине паза. При однослойных обмотках для мелких машин с мягкими всыпными катушками, закладываемыми в пазы одновременно обеими сторонами, имеются большие возможности применения полуавтоматических и автоматических станков для укладки обмотки.

Основными недостатками однослойных концентрических обмоток по сравнению с двухслойными являются:

увеличенный расход меди;

невозможность построения обмотки с укороченным шагом и ограниченные возможности построения схем с дробным q для наиболее распространенного вида однослойных обмоток — концентрических;

более громоздкая и трудоемкая технология изготовления и монтажа катушек для крупных электродвигателей высокого напряжения.

Перечисленные недостатки однослойных обмоток весьма существенны и сильно ограничивают их применение, в особенности для крупных машин высокого напряжения.

Однослойные и двухслойные обмотки подразделяются также в зависимости от формы катушек, о чем указано ниже при рассмотрении схем различных типов обмоток.

Перед тем как перейти непосредственно к рассмотрению схем обмоток, следует дать некоторые буквенные обозначения и приемы изображения схем на чертежах.

Основной чертеж схемы в условном виде представляет собой развертку окружности статора на плоскости. *Пазы и стороны* уложенных в них катушек изображаются *прямыми линиями*. *Схемы двухслойных обмоток в пазовой части изображаются двумя рядом расположенными линиями — сплошной и пунктирной*, причем сплошная линия обозначает сторону катушки, уложенную в верхнюю часть паза, а пунктирная линия — нижнюю сторону катушки, уложенную на дно паза. Нижний и верхний слои лобовых частей изображаются соответственно пунктирными и сплошными линиями.

Кроме основного, приводятся и другие способы изображения схем (кольцевой, торцевой, упрощенной), пояснения к которым даны в ходе описания этих схем.

Стрелки на элементах обмотки, проставленные на некоторых схемах, показывают направление э. д. с. или токов в соответствующих элементах обмотки в определенный (один и тот же для всех фаз обмотки) момент времени.

Начала и концы фаз по действующему ГОСТ 183-66 обозначаются:

	Для обмоток статора	Для обмоток ротора
Начало 1-й фазы	C_1	P_1
„ 2-й „	C_2	P_2
„ 3-й „	C_3	P_3
Конец 1-й „	C_4	P_4
„ 2-й „	C_5	P_5
„ 3-й „	C_6	P_6

В литературе ранних изданий, а также на паспортных табличках электродвигателей старых выпусков обозначение выводов дается соответственно: X, Y, Z, U, V, W или H_1, H_2, H_3, K_1, K_2, K_3.

Для составления схем обмоток асинхронных двигателей, помимо указания вида обмотки, должны быть даны определяющие ее параметры:

z — число пазов; $2p$ — число полюсов; y_z — шаг обмотки по пазам; a — число параллельных ветвей в фазе; $\curlywedge$ (звезда) или Δ (треугольник) — способ соединения фаз.

2-2. СХЕМЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК СТАТОРОВ

Однослойные обмотки статоров в современных отечественных машинах применяются, как об этом уже говорилось выше, в основном для электродвигателей небольшой мощности в виде всыпных катушек из круглого провода. Кроме того, до настоящего времени в промышленности находится в эксплуатации большое число электродвигателей старых выпусков отечественного производства и иностранных фирм, имеющих однослойную обмотку; почти все они требуют полной замены обмотки в связи со старением изоляции от длительного срока работы.

Однослойные обмотки крупных электродвигателей выполнялись, как правило, путем протяжки провода (чаще всего круглого сечения) через вставленные в закрытые или полузакрытые пазы микафолиевые гильзы, т. е. катушка, а иногда и целая катушечная группа была изготовлена одним сплошным проводом, без паяных соединений.

При капитальных ремонтах обмоток такого типа в настоящее время упомянутый способ «протяжки» почти не применяется ввиду очень большой трудоемкости.

Сейчас катушки однослойной концентрической обмотки изготовляют в виде так называемых «разрезных» U-образных заготовок, вставляемых с торца в пазы, а на

противоположной стороне производят формовку лобовой части и пайку каждого витка в отдельности.

Способ «разрезных» U-образных заготовок, несмотря на наличие большого количества паяных соединений, предпочтительнее способа «протяжки» по следующим основным положениям:

обеспечивается более надежная витковая изоляция;

обеспечивается более эффективное заполнение паза медью;

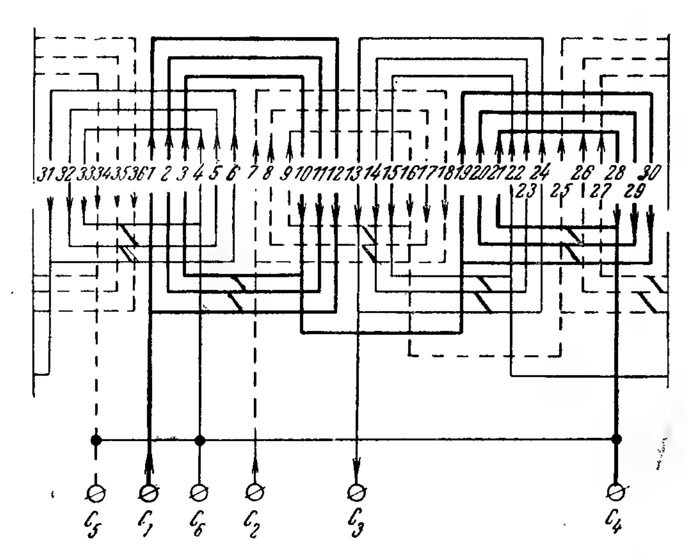


Рис. 2-3. Схема двухплоскостной концентрической обмотки.
$2p=4$; $z=36$.

имеется возможность заблаговременной заготовки обмотки с целью выполнения замены устаревшей обмотки в минимальные сроки.

Однослойные обмотки разделяются на два основных типа: концентрические и шаблонные.

Концентрические обмотки. На рис. 2-3 представлена трехфазная схема однослойной концентрической обмотки статора для четырехполюсного электродвигателя, число пазов которого $z=36$ и фазы обмотки соединены в звезду.

При составлении схемы руководствуются следующими соображениями

Полюсное деление составляет:

$$\tau=\frac{z}{2p}=\frac{36}{4}=9.$$

Число пазов на полюс и фазу равно:

$$q=\frac{z}{m2p}=\frac{36}{3\cdot 4}=3.$$

В соответствии с этим первая катушечная группа, состоящая из трех катушек, заклдывается левыми сторонами катушек в пазы *1, 2* и *3*, а правыми сторонами — в пазы *10, 11* и *12*. Началом первой фазы C_1 принимается вывод из левой стороны катушки, заложенной в паз *1*. Заключенные между сторонами первой катушечной группы пазы *4—9*, а также пазы *13—18* займут катушки двух других фаз. Таким образом, следующая катушечная группа первой фазы займет левыми сторонами катушек пазы *19, 20* и *21*, а правыми сторонами — пазы *28, 29* и *30*.

Для правильного образования полюсов в однослойных обмотках (кроме обмоток, выполненных «вразвалку», о чем будет указано ниже), т. е. в обмотках, где число катушечных групп в фазе равно числу пар полюсов, они должны соединяться разноименными концами (конец первой катушечной группы с началом второй, конец второй катушечной группы с началом третьей и т. д.).

Исходя из этого, следует соединять между собой концы катушек, выходящие из пазов *10* и *19*. При этом соединении двух катушечных групп оставшийся свободным вывод из правой стороны катушки, заложенной в паз *28*, является выводным концом первой фазы C_4.

Начало второй фазы сдвигается от начала первой фазы обычно на 120 *эл. град*, т. е. на $^2/_3$ полюсного деления. Здесь же следует отметить, что этот сдвиг может быть произведен на число электрических градусов, равное $120+360\,n$ или $240+360\,n$, где n — любое целое число, и только в целях концентрации всех выводов на одном участке обмотки они сдвигаются на минимально возможное расстояние — на 120 *эл. град*.

Начало второй фазы C_2 должно быть сдвинуто на $\frac{2}{3}\,\tau$, т. е. на $^2/_3\times 9=6$ пазов, т. е. располагается в $1+6=7$-м пазу.

Следовательно, первая катушечная группа второй фазы займет левыми сторонами катушек пазы *7, 8* и *9*, а правыми сторонами — пазы *16, 17* и *18*. Пазы *19—24* займут катушки других фаз, а вторая катушечная группа второй фазы займет левыми сторонами катушек пазы *25, 26* и *27* и правыми сторонами — пазы *34, 35* и *36*.

Катушечные группы второй фазы соединяются между собой концами катушек, выходящих из пазов *16* и *25*. Оставшийся свободным вывод из правой стороны катушки, заложенной в паз *34*, является выводным концом второй фазы C_5.

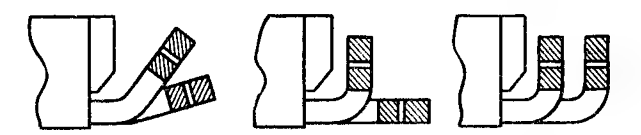


Рис. 2-4. Расположение лобовых частей двухплоскостной концентрической обмотки.

Начало третьей фазы C_3, сдвинутое от начала второй фазы на $^2/_3$ полюсоного деления, располагается в пазу *13*.

В первой катушечной группе третьей фазы левые стороны катушек займут пазы *13, 14* и *15*, а правые стороны — пазы *22, 23* и *24*. Вторая катушечная группа этой фазы располагается левыми сторонами катушек в пазах *31, 32* и *33* и правыми сторонами — в пазах *4, 5* и *6*. Соединяются между собой катушечные группы концами, выходящими из пазов *22* и *31*. Свободный вывод, выходящий из правой стороны катушки, заложенной в паз *4*, является выводным концом третьей фазы C_6.

Для соединения фаз в звезду соединяются выводы C_4, C_5 и C_6.

Чтобы проверить правильность образования полюсов, следует указать стрелками направление токов на входных концах фаз C_1, C_2 и C_3.

Как следует из векторной диаграммы фазовых токов трехфазной системы, в любой момент времени направление тока в начале одной из фаз обмотки всегда противоположно направлению токов в начале двух других фаз.

Сообразуясь с этим, следует далее поставить на линии пазов стрелки, показывающие направление тока в сторонах катушек, что и определит правильность образования полюсов в обмотке — их число и чередование, а также правильность соединения фаз между собой.

В однослойной концентрической обмотке шаги катушек в катушечной группе разные: в наружной (самой большой) катушке шаг составляет $4q-1$, а во внутренней (самой малой) шаг равен $2q+1$.

Средний же шаг входящих в катушечную группу всех катушек, который является расчетным при определении э. д. с. обмотки, составляет:

$$\frac{(4q-1)+(2q+1)}{2}=3q=\frac{z}{2p},$$

т. е. является диаметральным.

По способу расположения лобовых частей обмотку, изображенную на рис. 2-3, называют двухплоскостной (двухъярусной), так как в ней лобовые части расположены в двух плоскостях.

Взаиморасположение лобовых частей 1-й и 2-й плоскостей показано на рис. 2-4.

В однослойной обмотке число катушечных групп в фазе равно числу пар полюсов p; следовательно, число катушечных групп всей обмотки будет $3p$, т. е. $3p/2$ малых (1-й плоскости) катушечных групп и $3p/2$ больших (2-й плоскости) катушечных групп. Число $3p/2$ может быть целым тогда, когда p четное, т. е. число полюсов обмотки $2p$ равно 4, 8, 12, 16 и т. д. Это значит, что только при числе полюсов машины из указанного ряда вся двухплоскостная обмотка может быть распределена на три фазы с равным числом больших и малых катушечных групп в каждой фазе, как это имело место в обмотке, приведенной на рис. 2-3, или в обмотке, приведенной на рис. 2-5 для восьмиполюсной машины.

В том же случае, когда число пар полюсов нечетное (число полюсов $2p$ равно 6, 10, 14, 18 и т. д.), двухплоскостная обмотка не может быть распределена по фазам с одинаковым количеством больших и малых катушечных групп. Она должна иметь в каждой фазе так называемую «переходную» катушечную группу, как бы наполовину находящуюся в первой плоскости, наполовину — во второй. Схема такой обмотки для шестиполюсной машины приведена на рис. 2-6.

Переходные катушки изготовляются из заранее вставленных стержней и формуются в лобовых частях с обеих сторон статора.

Если еще раз обратиться к рис. 2-3 и 2-5, то можно увидеть, что обмотка на рис. 2-3 имеет последовательное соединение катушечных групп в фазе, а обмотка на рис. 2-5 — соединение в две параллельные ветви. Исходя из общего принципа образования параллельных ветвей последние должны иметь одинаковые индуктивные и активные сопротивления для обеспечения равенства про-

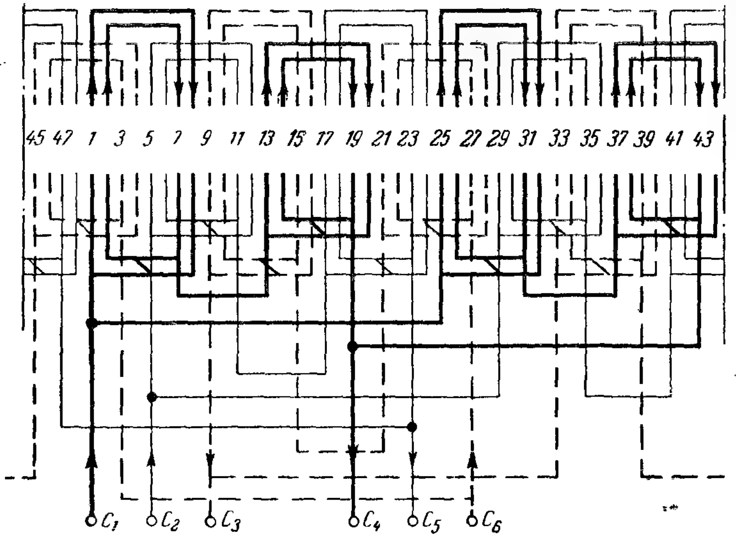


Рис. 2-5. Схема двухплоскостной концентрической обмотки.
$2p=8$; $z=48$; $a=2$.

ходящих по ним токов. Следовательно, обмотка, изображенная на рис. 2-3, при соединении в две параллельные ветви имела бы неодинаковые активные сопротивления, так как в одну параллельную ветвь входила бы малая катушечная группа, а в другую — большая с разными длинами лобовых частей и, следовательно, разными активными (и индуктивными) сопротивлениями. Что касается схемы, изображенной на рис. 2-5, то здесь в каждую параллельную ветвь входит по одной малой и одной большой катушечной группе и принцип равенства активных (и индуктивных) сопротивлений соблюден. Если бы эту обмотку соединить в четыре параллельные ветви, то этот принцип снова пришлось бы нарушить и получить обмотку с разными активными (и индуктивными) сопротивлениями в параллельных ветвях.

На рис. 2-7 изображена схема обмотки для четырехполюсной машины точно такой же, как изображенная на рис. 2-3.

Различие этих схем состоит лишь в том, что обмотка на рис. 2-7 состоит из одинаковых катушечных групп (отсюда ее название «равнокатушечная»). При соединении этой обмотки в две параллельные ветви разницы в актив-

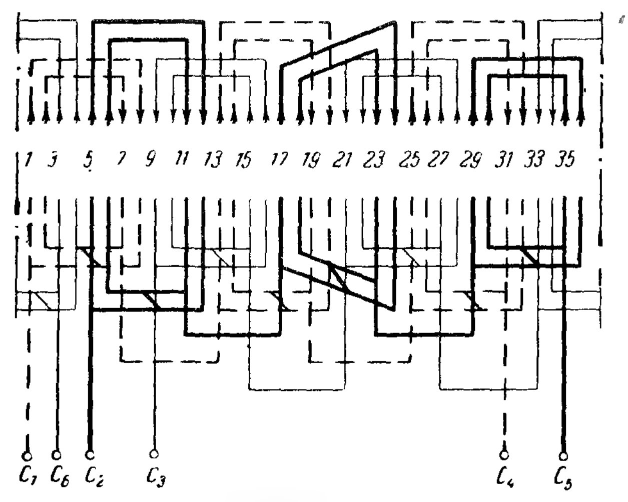


Рис. 2-6. Схема обмотки с переходной катушечной группой.
$2p=6$; $z=36$.

ных сопротивлениях параллельных ветвей не будет. Однако основной причиной применения равнокатушечных обмоток является не только стремление достигнуть равенства сопротивлений в параллельных ветвях, но и упрощение технологии изготовления U-образных заготовок, так как при этом все катушечные группы будут одинаковыми. Если в обыкновенной однослойной обмотке число видов катушек будет равно $2q$, то в равнокатушечной обмотке это число будет только q.

На рис. 2-8 представлена очень часто применяемая на практике схема трехплоскостной обмотки (лобовые части обмотки располагаются в трех плоскостях). Как это видно из рисунка, все лобовые части первой фазы обмотки располагаются в 1-й плоскости, третьей фазы — во 2-й плоскости и второй фазы — в 3-й плоскости.

Таким образом, как об этом уже выше упоминалось, сопротивления фаз в этой обмотке различны. Другой особенностью этой схемы является то, что катушечная группа, состоящая из шести катушек ($q=6$), разбита на две — по три катушки в каждой, т. е. катушечная группа как бы развалена надвое, а число групп удваивается. Отсюда такую обмотку часто называют намотанной «вразвалку».

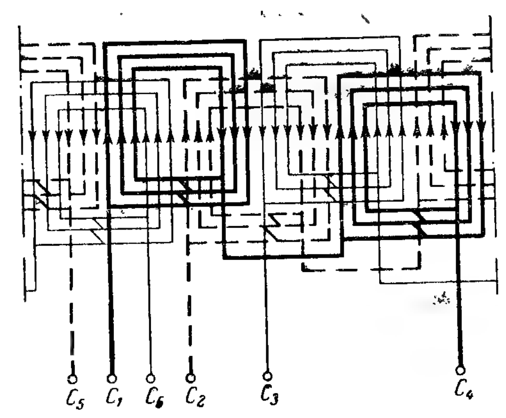


Рис. 2-7. Схема двухплоскостной концентрической равнокатушечной обмотки.
$2p=4$; $z=36$.

Следует обратить внимание, что в отличие от ранее описанного способа соединения катушечных групп в фазе для простых однослойных концентрических обмоток в данном случае при обмотке, выполненной «вразвалку», для правильного образования полюсов катушечные группы следует соединять между собой одноименными концами.

Трехплоскостную обмотку, изображенную на рис. 2-8, также можно преобразовать в равнокатушечную, для чего со стороны схемы следует переместить лобовые части катушек первой фазы с 1-й в 3-ю плоскость, а лобовые части катушек второй фазы с 3-й в 1-ю плоскость.

При выборе схемы для трехплоскостной обмотки «вразвалку» следует учитывать, что обмотка по схеме с катушечными группами разной длины (по типу изображенной на рис. 2-8) требует заготовки трех длин U-образных катушечных групп, причем большая катушечная группа иногда должна иметь миканитовые толстостенные гильзы очень большой длины, для которых необходимо изготовление соответствующих пресс-форм. Но монтаж катушечных групп в статоре и формовка второй лобовой части в такой обмотке проще, чем у равнокатушечной.

В этой обмотке все катушки вставляются в пазы с одного торца статора и сам статор устанавливается в вертикальное положение отформованными сторонами вниз; формовка и пайка лобовых дуг, выходящих из пазов, производятся в удобном положении.

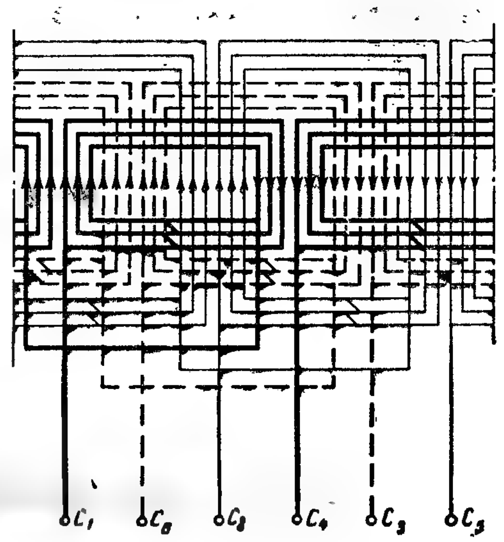


Рис. 2-8. Схема трехплоскостной концентрической обмотки «вразвалку».
$2p=2$; $z=36$.

Обмотка же по равнокатушечной схеме более проста в подготовительной части (все U-образные катушечные группы одинаковы), но более сложна в монтаже и формовке второй лобовой части, так как вставка всех катушечных групп производится одновременно с обоих торцов статора и выступающие концы разрезанных лобовых частей не дают возможности установить статор на торец.

Шаблонные обмотки можно подразделить на простую шаблонную обмотку, шаблонную обмотку «вразвалку» и цепную обмотку.

На рис. 2-9 приведена полная развернутая схема простой шаблонной обмотки двухполюсной машины при $q=3$. Из этой схемы видно, что катушки шаблонной об-

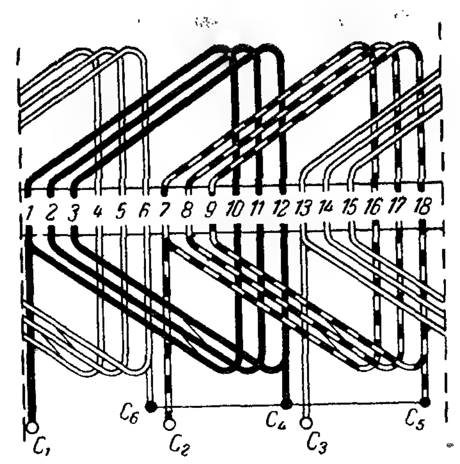


Рис. 2-9. Схема простой шаблонной обмотки.
$2p=2$; $z=18$; $y_z=9$.

мотки (это относится ко всем типам шаблонных обмоток) имеют трапецеидальную форму. Одна пазовая часть катушки — длинная, другая — короткая. Лобовые

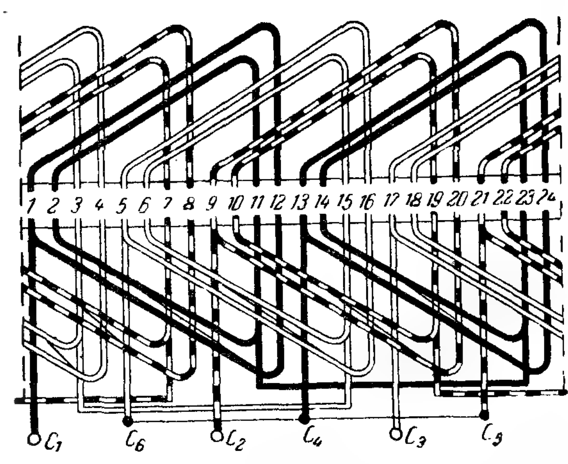


Рис. 2-10. Схема шаблонной обмотки «вразвалку».
$2p=2$; $z=24$; $q=4$; $y_{z1}=11$; $y_{z2}=9$.

части катушек при этом располагаются в двух плоскостях.

Как видно из схемы, образование катушечных групп и фаз обмотки, определение начал и концов фаз производятся так же, как и в концентрической обмотке.

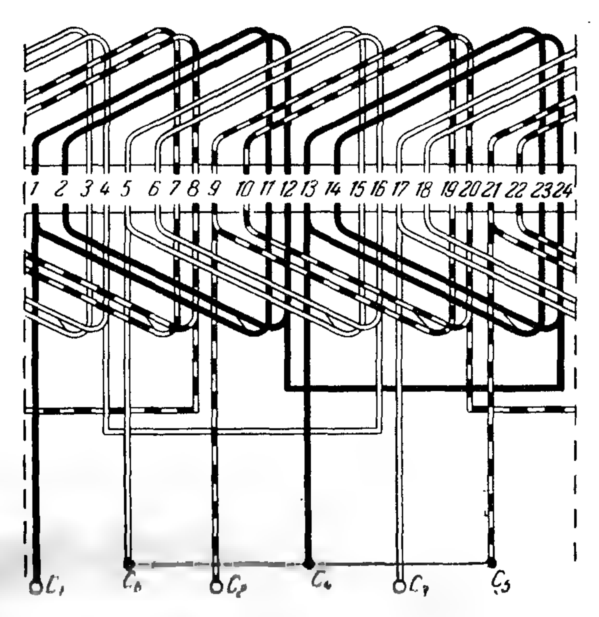


Рис. 2-11. Схема шаблонной равнокатушечной обмотки.
$2p=2$; $z=24$; $q=4$; $y_z=10$.

Положительным качеством этой обмотки является то, что все катушки совершенно одинаковы по форме.

Шаблонная обмотка, так же как и концентрическая, может быть выполнена способом «вразвалку». На рис. 2-10 изображена схема шаблонной обмотки «вразвалку» для двухполюсного электродвигателя при $z=24$.

Дальнейшим развитием схемы, изображенной на рис. 2-10, может служить схема на рис. 2-11 для такого же электродвигателя.

Если в схеме на рис. 2-10 катушки имеют неодинаковую форму, то в схеме на рис. 2-11 все катушки совершенно одинаковы. Схему на рис. 2-11 можно рассматривать как промежуточную между шаблонной обмоткой

«вразвалку» и так называемой цепной обмоткой. Цепные обмотки также выполняют «вразвалку».

Отличие же их от предыдущих обмоток заключается в том, что в них короткие и длинные стороны катушек чередуются, т. е. «развалка» производится не по полугруппам, а по катушкам.

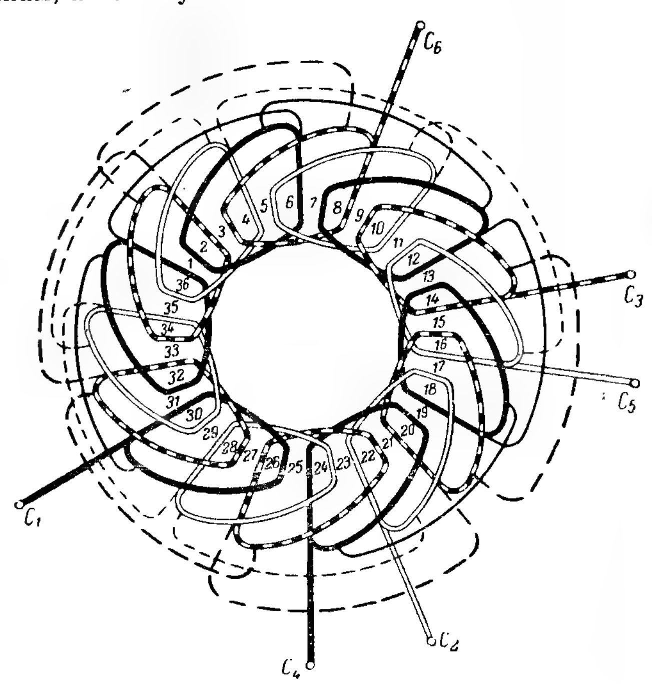


Рис. 2-12. Схема цепной обмотки.
$2p=6$; $z=36$; $q=2$; $y_z=5$.

На рис. 2-12 и 2-13 представлены схемы цепных обмоток соответственно для шести- и четырехполюсной машины. Для наглядности эти схемы представлены в виде кольцевой развертки. Рассматривая эти схемы, мы можем заметить, что если короткие стороны катушек лежат в нечетных пазах, то длинные стороны лежат в четных. Но так как каждая катушка состоит из короткой и длинной стороны, то цепную обмотку можно образовать только в том случае, если ее шаг будет нечетным.

Важно также отметить, что обмотки, изображенные на рис. 2-12 и 2-13, выполнены с укороченным шагом

катушек по пазам. На этой и другой схеме шаг равен пяти, в то время как диаметральный шаг этих обмоток равен:

для рис. 2-12

$$\frac{z}{2p}=\frac{36}{6}=6,$$

для рис. 2-13

$$\frac{z}{2p}=\frac{24}{4}=6.$$

Таким образом, цепная обмотка может быть выполнена с укороченным шагом, что даст экономию меди в лобовых частях.

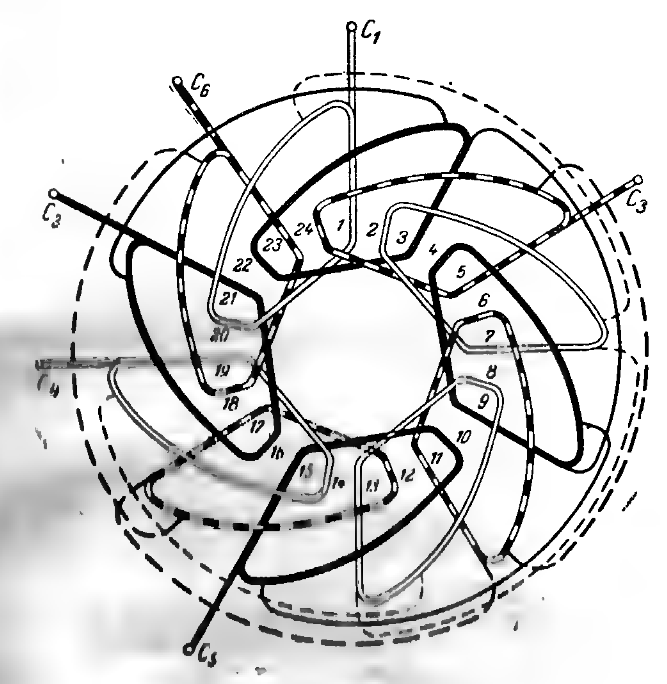


Рис. 2-13. Схема цепной обмотки.
$2p=4$; $z=24$; $q=2$; $y_z=5$.

Касаясь вопроса образования числа параллельных ветвей в однослойных обмотках, следует учитывать, что это число ветвей a определяется числом катушечных групп в фазе, составляющим для простых однослойных

обмоток p и для однослойных обмоток, выполненных «вразвалку», $2p$.

Поэтому, исходя из обязательного условия равенства числа катушечных групп в каждой параллельной ветви фазы, частное от деления p/a — для простых однослойных обмоток и $2p/a$ — для однослойных обмоток, выполненных «вразвалку», должно быть целым числом.

В соответствии с этими соображениями составлена табл. 2-1.

Таблица 2-1

Выполнимое число параллельных ветвей в однослойных обмотках

Число полюсов $2p$ при простой однослойной обмотке					
2	4	6	8	10	12
1	1,2	1,3	1, 2, 4	1,5	1, 2, 3, 6

Продолжение табл. 2-1

Число полюсов $2p$ при однослойной обмотке, выполненной „вразвалку"					
2	4	6	8	10	12
1,2	1, 2, 4	1, 2, 3, 6	1, 2, 4, 8	1, 2, 5 10	1, 2, 3, 4, 6, 12

2-3. СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ОБМОТОК СТАТОРОВ С ЦЕЛЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Наибольшее распространение в статорах электрических машин переменного тока во всем диапазоне мощностей имеют двухслойные петлевые обмотки.

Название «двухслойной» обмотка получила потому, что в паз закладываются стороны двух катушек, а каждая катушка располагается на статоре в двух слоях. Один слой обмотки укладывается на дно паза («нижний» слой), а другой — в части паза, прилегающей к расточке статора («верхний» слой). Лобовые части катушки также занимают два слоя, а переход из одного слоя в другой осуществляется в головках катушек.

В дальнейшем при рассмотрении схем двухслойных обмоток стороны катушек, расположенные в верхнем слое, изображаются сплошной линией, а стороны катушек, расположенные в нижнем слое, — пунктирной.

В настоящем разделе рассматриваются схемы петлевых двухслойных обмоток в отличие от волновых обмоток, применяемых главным образом для фазных роторов, а также для статоров гидрогенераторов и других крупных электрических машин. Схемы волновых двухслойных обмоток рассматриваются в разделе, посвященном схемам роторных обмоток.

Двухслойные петлевые обмотки имеют следующие преимущества:

а) практическую возможность применения катушек с любым укорочением шага, причем шаг катушки может быть как четным, так и нечетным;

б) сравнительно несложное выполнение обмотки с числом пазов на полюс и фазу q любой дробности; пп. «а» и «б» дают возможность влиять на форму кривой магнитного поля, приближая ее к синусоидальной;

в) применение для всей обмотки шаблонных катушек одного размера, что упрощает и удешевляет процесс изготовления обмотки;

г) возможность применения разновитковых катушек при полном использовании площади пазов статора, если в результате электромагнитного расчета машины окажется, что полное число активных проводников в пазу должно быть нечетным.

Перечисленные качества двухслойной петлевой обмотки обеспечивают преимущественное применение ее для статоров элктрических машин переменного тока.

В качестве примера приведена схема двухслойной обмотки со следующими параметрами (рис. 2-14):

$$2p=8;\ z=48;\ y_z=5;\ a=1.$$

Так как диаметральный шаг этой обмотки

$$y=\frac{z}{2p}=\frac{48}{8}=6,$$

то укорочение обмотки

$$\alpha=\frac{y_z}{y}=\frac{5}{6}.$$

Число пазов на полюс и фазу

$$q=\frac{z}{2pm}=\frac{48}{8\cdot 3}=2.$$

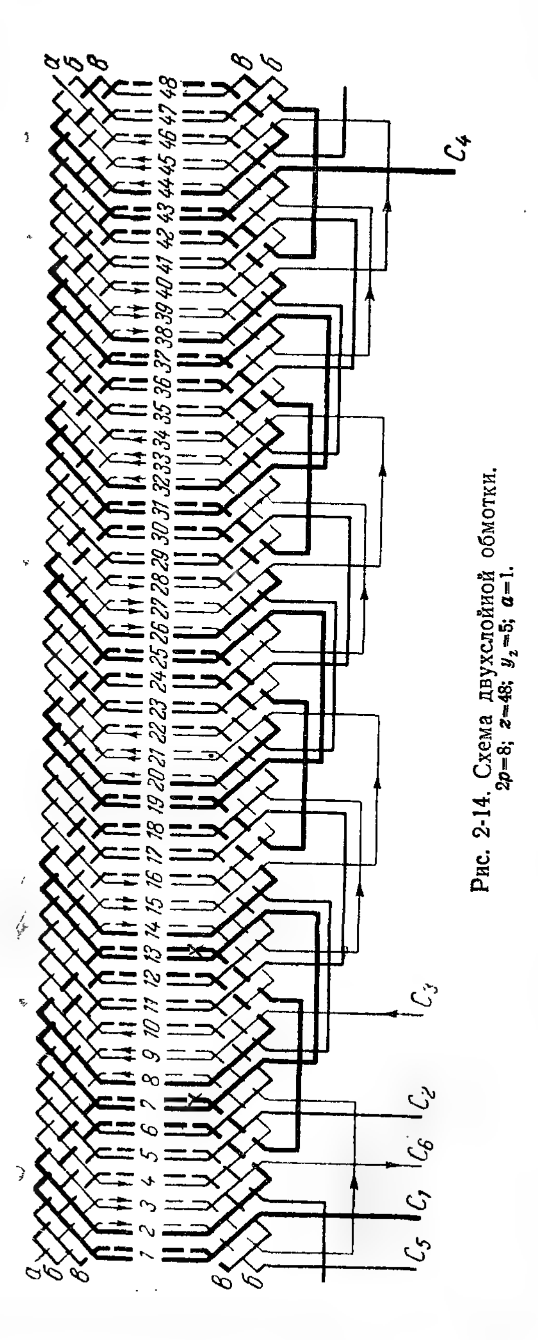


Рис. 2-14. Схема двухслойной обмотки. $2p=8$; $z=48$; $y_z=5$; $a=1$.

В соответствии с этим 1-я катушечная группа, состоящая из двух катушек, закладывается: верхними сторонами катушек в пазы, условно обозначенные *1* и *2*, нижними сторонами — в пазы *6* и *7*.

Началом C_1 первой фазы принимается вывод катушки из верхнего слоя первого паза.

Верхний слой пазов *3*, *4*, *5* и *6* и нижний слой пазов *8*, *9*, *10* и *11* займут соответственно катушечные группы других двух фаз.

Следующая катушечная группа первой фазы займет своими верхними сторонами пазы *7* и *8*, а нижними — пазы *12* и *13*.

Остальные катушечные группы первой фазы займут: верхними сторонами катушек — пазы *13* и *14*, *19* и *20*, *25* и *26*, *31* и *32*, *37* и *38*, *43* и *44*; нижними сторонами катушек — пазы *18* и *19*, *24* и *25*, *30* и *31*, *36* и *37*, *42* и *43*, *48* и *1*.

Для правильного образования и чередования полюсов катушечные группы при последовательном соединении (в нашем случае $a=1$ — соединение последовательное) должны соединяться между собой одноименными выводами. При соединении таким способом всех катушечных групп первой фазы получится свободный вывод из верхней стороны катушки, заложенной в паз *43*. Этот вывод и является выводным концом первой фазы C_4.

Начало второй фазы должно быть сдвинуто от начала первой фазы (если q — целое число) на 120 *эл. град.*, или на $^2/_3$ полюсного деления.

Так как полюсное деление

$$\tau = \frac{z}{2p} = \frac{48}{8} = 6,$$

то начало второй фазы должно быть сдвинуто на $^2/_3 \cdot 6 = 4$ паза, т. е. расположено в $1+4=5$-м пазу.

Аналогично этому начало третьей фазы располагается в пазу *9*.

Концы второй и третьей фаз, также сдвинутые от конца первой фазы на $^2/_3\tau$, должны находиться соответственно в пазах *47* и *3*.

Обращает на себя внимание, что в одном пазу каждого полюса (пазы *6*, *12*, *18* и т. д.) имеет место встречное направление токов в верхней и нижней сторонах катушек. Это является следствием принятого укорочения шага обмотки на один паз.

При укорочении на два паза по отношению к диаметральному встречное направление токов будет уже в двух пазах каждого полюса.

При диаметральном шаге обмотки встречных направлений токов в одном и том же пазу не будет.

Мы уже упоминали о том, что в зависимости от расчетных данных катушечные группы в фазе могут быть соединены между собой последовательно или параллельно (в две или несколько параллельных ветвей).

На рис. 2-15 приведена схема обмотки с параметрами, аналогичными обмотке на рис. 2-14, но при соединении катушечных групп в две параллельные ветви ($a=2$).

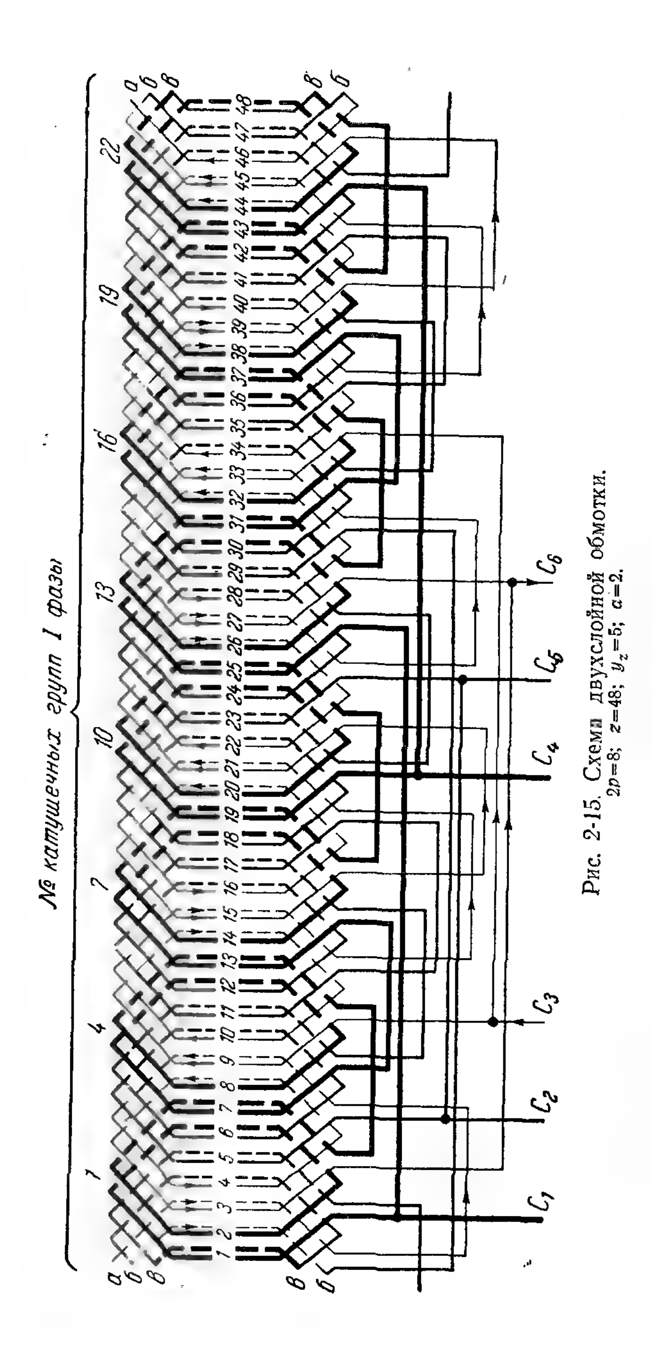


Рис. 2-15. Схема двухслойной обмотки.
$2p=8$; $z=48$; $y_z=5$; $a=2$.

В электрических машинах переменного тока различают два способа образования параллельных ветвей в обмотке статора — распределенный и сосредоточенный. Так, например, способ соединения параллельных ветвей, осуществленный в схеме рис. 2-15, называют сосредоточенным, так как все катушечные группы, входящие в какую-либо параллельную ветвь, сосредоточены на определенной части окружности статора (в данном случае на половине статора).

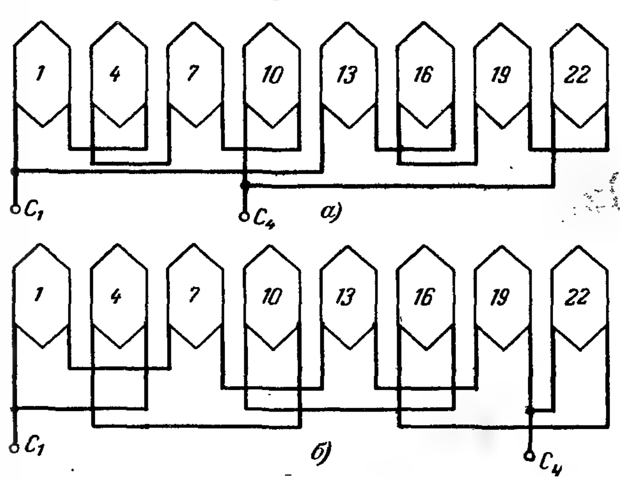


Рис. 2-16. Соединение параллельных ветвей.
а — сосредоточенное; *б* — распределенное.

Для того чтобы параллельное соединение в схеме на рис. 2-15 сделать распределенным, надо в первую параллельную ветвь первой фазы последовательно включить все нечетные катушечные группы *1, 7, 13* и *19,* а во вторую параллельную ветвь первой фазы — четные катушечные группы *4, 10, 16* и *22.* Аналогично образовать параллельные соединения и в остальных двух фазах. Схематически расположение сосредоточенных и распределенных параллельных ветвей фазы обмотки показано на рис. 2-16.

Способ образования параллельных ветвей влияет на работу обмотки и всей электрической машины. Для идеального случая, когда воздушный зазор машины строго одинаков по всей окружности и магнитные взаимодействия ротора и статора равномерны по всей окружности,

оба способа равноценны. В этом случае способ сосредоточенных параллельных ветвей предпочтительней лишь потому, что внутримашинные схемные соединения несколько проще выполнить, чем при распределенном способе; соответственно требуется меньше изоляционных материалов, что имеет немаловажное значение для крупных машин высокого напряжения.

Но если по каким-либо причинам воздушный зазор по окружности статора неодинаков, например произошло проседание ротора вследствие выработки подшипников, то возникает прогрессирующая сила одностороннего магнитного притяжения ротора, которая в еще большей степени увеличивает давление вала ротора на подшипники и в конце концов может привести к аварии машины. В таком случае предпочтительнее была бы обмотка с сосредоточенными параллельными ветвями. Это объясняется следующим: на тех участках окружности, где произошло уменьшение воздушного зазора, повышается индуктивное сопротивление элементов обмотки, прилегающих к этим местам. Наоборот, там, где увеличился воздушный зазор, индуктивное сопротивление элементов обмотки снижается; в предыдущем разделе мы отмечали, что полное сопротивление обмотки и, следовательно, величина тока в ней в основном зависят от ее индуктивности.

Из сказанного следует, что, в параллельных сосредоточенных ветвях (рис. 2-16,*а*) проходят разные по величине токи, а именно: в верхней ветви больший ток, а в нижней — меньший. Так как сила взаимодействия ротора со статором на отдельных участках расточки зависит не только от величины воздушного зазора между ротором и статором, но и от токов, проходящих по обмоткам ротора и статора на этих участках, то больший ток в верхней параллельной ветви будет как бы подтягивать ротор вверх, облегчая давление его на подшипники. Заметим, что положительное действие сосредоточенных параллельных ветвей сопровождается увеличением тока в одной из параллельных ветвей, что может привести к нежелательным последствиям, если сечение проводов обмотки не имеет соответствующего запаса.

Достоинством распределенных параллельных ветвей является то, что токи в них всегда одинаковы вне зависимости от состояния воздушного зазора. Но, как указывалось ранее, такое соединение не способствует выравниванию магнитных сил взаимодействия ротора со статором при смещении зазора.

В статорах асинхронных двигателей, где воздушный зазор делается минимально допустимым по механическим условиям работы узлов машины, даже при незначительном нарушении соосности статора и ротора (на 0,2—0,3 *мм*) разница между максимальной и минимальной величинами воздушного зазора в диаметрально противоположных точках окружности расточки может оказаться очень большой. Силы одностороннего магнитного притяжения при этом могут достигнуть большой величины. Это обстоятельство и обусловливает применение сосредоточенных параллельных ветвей.

Возможное число параллельных ветвей в рассматриваемом виде обмоток, так же как и для однослойных обмоток, определяется условием, по которому частное от деления числа катушечных групп в фазе на число параллельных ветвей должно быть целым числом.

Так, если число катушечных групп в фазе в двухслойных обмотках составляет $2p$, то целым

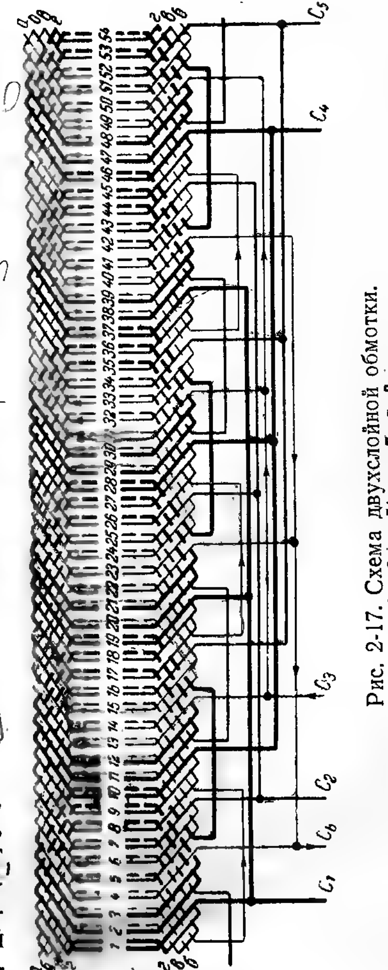


Рис. 2-17. Схема двухслойной обмотки. $2p=6$; $z=54$; $y_z=7$; $a=3$.

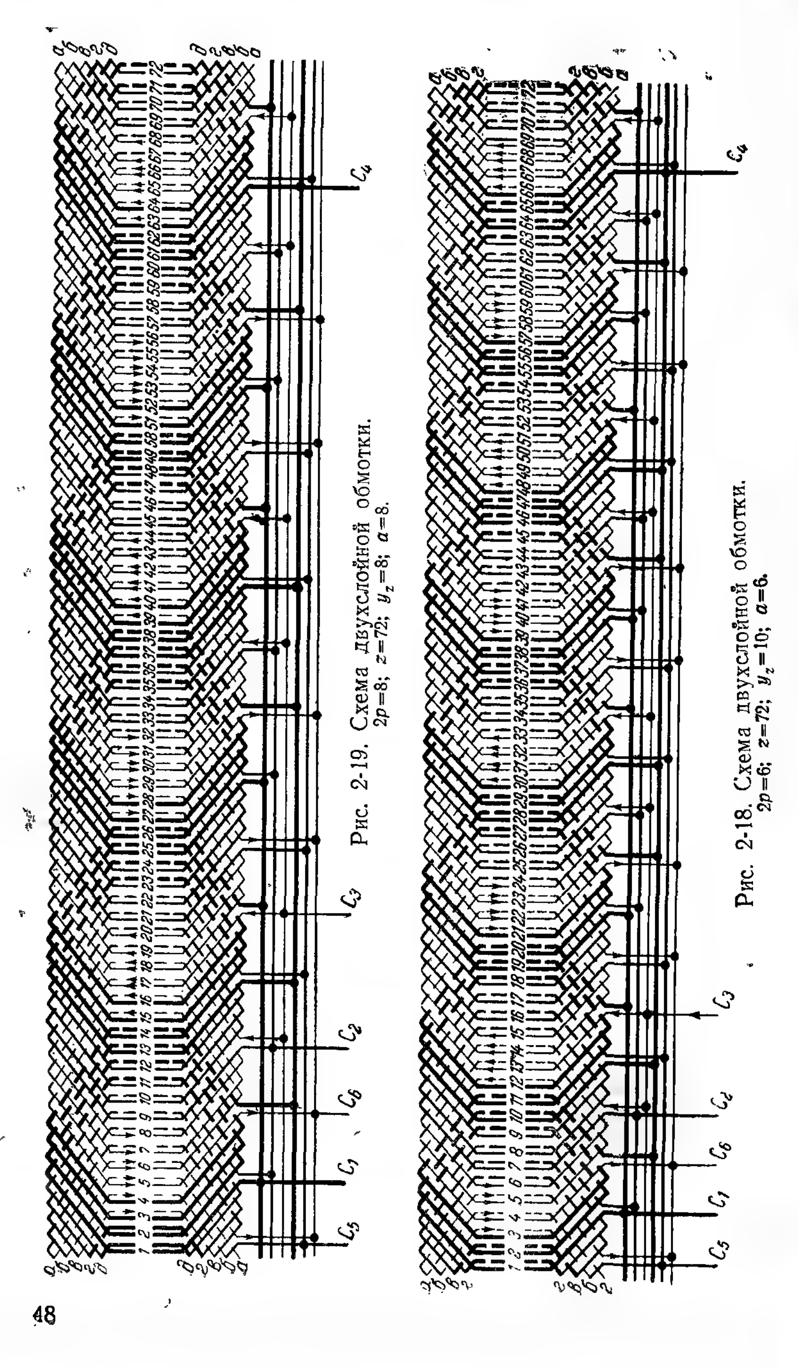


Рис. 2-19. Схема двухслойной обмотки. $2p=8$; $z=72$; $y_z=8$; $a=8$.

Рис. 2-18. Схема двухслойной обмотки. $2p=6$; $z=72$; $y_z=10$; $a=6$.

числом должно быть $2p/a$. Этому же условию должны удовлетворять и однослойные обмотки, выполненные «вразвалку».

Поэтому для двухслойных обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу определение возможного числа параллельных ветвей производится по табл. 2-1.

В качестве примеров на рис. 2-17—2-19 приведены схемы обмоток, имеющих соответственно 3, 6 и 8 параллельных ветвей в фазе для различного числа пазов статора.

2-4. СХЕМЫ ДВУХСЛОЙНЫХ ОБМОТОК СТАТОРОВ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Выше рассматривались схемы обмоток, в которых q являлось целым числом. Однако q может быть и не целым числом. Например, при $z=30$; $2p=4$ и $m=3$ число пазов на полюс и фазу

$$q=\frac{z}{2pm}=\frac{30}{4\cdot 3}=2^1/_2.$$

Дробное число пазов на полюс и фазу показывает, что в обмотке катушечные группы не все одинаковы: в некоторых катушечных группах число катушек на одну больше, чем в других.

В общем случае дробное число пазов на полюс и фазу представляется в виде целого числа и правильной дроби:

$$q=b+\frac{c}{d}.$$

Часть катушечных групп комплектуется из $b+1$ катушек, а часть — из b катушек.

Например, при $q=1^1/_2$ половина катушечных групп выполняется из $b=1$ катушки («малые» катушечные группы), а половина — из $b+1=2$ катушек («большие» катушечные группы).

На рис. 2-20 приведена схема соединений обмотки с $q=1^1/_2$, в которой группы из двух и одной катушек чередуются между собой.

Условно чередование катушечных групп по окружности статора в приведенной схеме записывается: (1—2), (1—2), (1—2) и т. д.

Однако указанное несложное чередование катушечных групп имеет место, когда дробная часть q равна

$^1/_2$. При других значениях дробной части это сочетание бывает сложным. Например, при $q=1^2/_7$ оно будет:

(1—2—1—1—1—2—1), (1—2—1—1—1—2—1) и т. д.

В табл. 2-2 приводится чередование катушечных групп при различных значениях q.

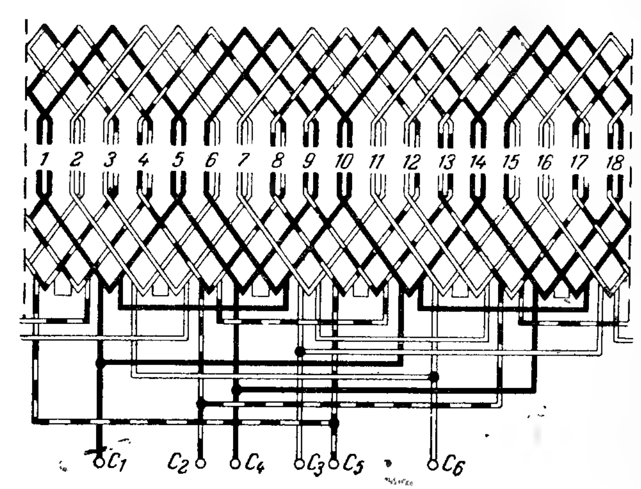


Рис. 2-20. Схема двухслойной обмотки.
$2p=4$; $z=18$; $q=1^1/_2$.

Как видно из приведенной таблицы, в каждом чередовании содержится d катушечных групп, из них c «больших» групп и $d—c$ «малых» групп.

Нетрудно убедиться, что в двухслойной обмотке, содержащей z/q катушечных групп, общее число чередований составит $\frac{z}{bd+c}$.

Например, при $z=72$ и $2p=10$

$$q=2\frac{2}{5}\,(b=2, c=2, d=5).$$

Общее число катушечных групп составит:

$$\frac{72}{2\frac{2}{5}}=30.$$

Чередование катушечных групп при дробном числе пазов на полюс и фазу

Число пазов на полюс и фазу q	Чередование катушечных групп
$1^1/_2$	(1—2), (1—2) и т. д.
$1^1/_4$	(1—1—1—2), (1—1—1—2) и т. д.
$1^3/_4$	(1—2—2—2), (1—2—2—2) и т. д.
$1^1/_5$	(1—1—1—1—2), (1—1—1—1—2) и т. д.
$1^2/_5$	(2—1—2—1—1), (2—1—2—1—1) и т. д.
$1^3/_5$	(1—2—1—2—2), (1—2—1—2—2) и т. д.
$1^4/_5$	(1—2—2—2—2), (1—2—2—2—2) и т. д.
$1^1/_7$	(1—1—1—1—1—1—2), (1—1—1—1—1—1—2) и т. д.
$1^2/_7$	(1—2—1—1—1—2—1), (1—2—1—1—1—2—1) и т. д.
$1^3/_7$	(1—2—1—2—1—2—1), (1—2—1—2—1—2—1) и т. д.
$1^4/_7$	(2—1—2—1—2—1—2), (2—1—2—1—2—1—2) и т. д.
$1^5/_7$	(2—1—2—2—2—1—2), (2—1—2—2—2—1—2) и т. д.
$1^6/_7$	(2—2—2—2—1—2—2), (2—2—2—2—1—2—2) и т. д.
$1^1/_8$	(2—1—1—1—1—1—1—1), (2—1—1—1—1—1—1—1) и т. д.
$1^3/_8$	(2—1—2—1—1—2—1—1), (2—1—2—1—1—2—1—1) и т. д.
$1^5/_8$	(2—2—1—2—2—1—2—1), (2—2—1—2—2—1—2—1) и т. д.
$1^7/_8$	(2—2—2—2—2—2—2—1), (2—2—2—2—2—2—2—1) и т. д.
$1^1/_{10}$	(2—1—1—1—1—1—1—1—1—1), (2—1—1—1—1—1—1—1—1—1) и т. д.
$1^3/_{10}$	(2—1—1—2—1—1—2—1—1—1), (2—1—1—2—1—1—2—1—1—1) и т. д.
$1^7/_{10}$	(2—2—2—1—2—2—1—2—2—1), (2—2—2—1—2—2—1—2—2—1) и т. д.
$1^9/_{10}$	(2—2—2—2—2—2—2—2—2—1), (2—2—2—2—2—2—2—2—2—1) и т. д.

Примечание. Для нахождения порядка чередования катушечных групп для q, отличающихся от приведенных в таблице на целое число, надо к каждой цифре в периоде чередования прибавить разность между этим числом и единицей. Например, для чередования при $q=1^1/_4$ указан в таблице период (1—1—1—2), (1—1—1—2) и т. д. Следовательно, период чередования для $q=2^1/_4$ составит: (2—2—2—3), (2—2—2—3) и т. д.

Число чередований равно:

$$\frac{72}{2\cdot 5+2}=6,$$

т. е. в каждом чередовании должно быть пять катушечных групп, из них:

2 «большие» группы, содержащие по 3 катушки, и
3 «малые» группы, содержащие по 2 катушки.

Для получения симметричной двухслойной обмотки необходимо строгое соблюдение чередования «больших» и «малых» групп и распределение их по фазам в последовательности A, C, B, A, C, B и т. д.

Кроме указанного, условием симметрии обмотки является то, что величина d не должна быть равна или кратна трем.

Необходимое условие образования параллельных ветвей при дробном q — отношение $2p/ad$ должно быть целым числом. Это обеспечит одинаковое количество больших (с числом катушек $b+1$) и малых (с числом катушек b) катушечных групп в каждой параллельной ветви.

Из этого условия следует, например, что:

a не может быть равным $2p$ для всех обмоток; a может быть равным 2 для четырехполюсных обмоток при $q=1^{1}/_{2}$, $2^{1}/_{2}$, $3^{1}/_{2}$ и т. д. и для восьмиполюсных обмоток $q=1^{1}/_{4}$, $1^{1}/_{2}$, $1^{3}/_{4}$ и т. д. Для шестиполюсных обмоток a не может быть равным 2; a может быть равным 3 для шестиполюсных обмоток при $q=1^{1}/_{2}$, $2^{1}/_{2}$, $3^{1}/_{2}$ и т. д. и двенадцатиполюсных обмоток при $q=1^{1}/_{4}$, $1^{1}/_{2}$, $1^{3}/_{4}$ и т. д.

2-5. УПРОЩЕННЫЕ СПОСОБЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ СХЕМ ОБМОТОК

Рассмотренный нами способ изображения схем обмоток в виде развертки окружности статора на плоскости достаточно нагляден и дает полное представление о параметрах обмотки. То же самое можно сказать о способе изображения схем, который мы применили для рис. 2-12 и 2-13. Его иногда называют способом кольцевой развертки.

Но эти способы изображения схем имеют существенный недостаток, заключающийся в сложности и трудоемкости их выполнения. Кроме того, при большом количестве пазов и полюсов схема в виде развертки статора на плоскости теряет одно из главных качеств — наглядность.

Существует несколько упрощенных способов составления схем обмоток, которые для практических целей вполне заменяют развернутые схемы, а с точки зрения принципа выполнения внутримашинных соединений обмотки являются даже более наглядными, чем развернутые.

Упрощенные способы применяются главным образом для изображения схем двухслойных обмоток.

Основным элементом упрощенной схемы является катушечная группа, состоящая из q катушек; последние, как мы уже знаем, внутри катушечной группы соединяются всегда последовательно. Таким образом, для практических целей достаточно иметь руководство, которое в простой и удобной форме указывало бы на порядок соединения между собой катушечных групп.

На рис. 2-21,*а* показана катушечная группа обмотки с $q=3$ и шагом обмотки 1—8. Условимся за начало катушечной группы считать вывод, идущий из верхнего слоя паза *1*, за конец катушечной группы — вывод, идущий из нижнего слоя паза *10*.

Понятно, что каждая катушечная группа будет иметь два конца — нижний и верхний вне зависимости от числа катушек, входящих в нее, или шага обмотки.

Рис. 2-21. Катушечная группа упрощенной схемы.

Чтобы не вычерчивать каждый раз катушечные группы, в упрощенной схеме их изображают в виде пунктирной линии *а — б* (рис. 2-21,*б*). При этом будем считать, что левый прямоугольник означает верхний, а правый — нижний конец катушечной группы.

Общее число катушечных групп в двухслойной трехфазной обмотке всегда равно $6p$ (так как число катушечных групп в фазе равно $2p$).

Тогда, например, для восьмиполюсной обмотки (см. рис. 2-14) общее число групп будет 24, соответственно каждая катушечная группа будет иметь номер с 1 по 24.

Если условиться, что катушечная группа 1 принадлежит фазе 1, а в каждую фазу включаются катушечные группы, расположенные по статору через две группы, принадлежащие другим фазам, то остальные катушечные группы фазы 1 будут иметь номера, отличающиеся друг от друга на три, а именно: *1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22*.

В фазу II, начинающуюся с группы 3, войдут катушечные группы с номерами: *3, 6, 9, 12, 15, 18, 21* и *24*. Номера катушечных групп фазы III будут: *5, 8, 11, 14, 17, 20, 23* и *2*.

Пользуясь принятым условным изображением катушечной группы, на рис. 2-22,*а* приведем все катушечные группы обмотки с $2p=8$.

Если верхний конец первой катушечной группы фазы I принять за начало катушечной группы, то нижний конец этой группы будет концом первой катушечной группы.

Рис. 2-22. Катушечные группы двухслойной обмотки для **2p=8.**

пы. Такое же распределение начал и концов получим для всех нечетных катушечных групп фазы I.

В четных катушечных группах этой фазы наименование концов будет противоположным. То же самое наименование концов катушечных групп получаем и для

фаз II и III. В соответствии с этим правилом расставлены буквы *Н* и *К* около каждой катушечной группы.

Так как соединение катушечных групп в фазах совершенно одинаково, то при составлении упрощенных схем описываемым способом соответственные катушечные группы всех трех фаз объединяют (рис. 2-22,*б*).

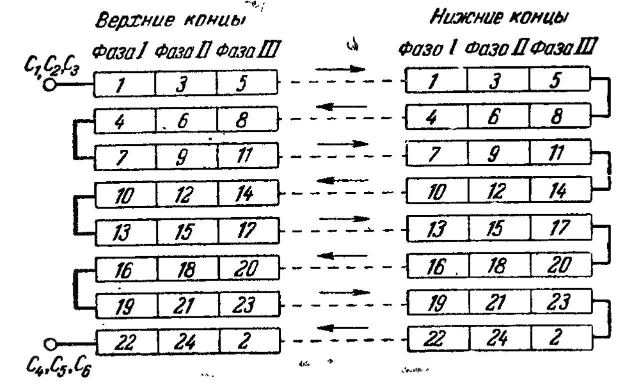


Рис. 2-23. Последовательное соединение катушечных групп при $2p=8$.

Таким же образом можно составить схему для обмотки с любым числом полюсов, причем число горизонтальных рядов в схеме будет всегда равно числу полюсов обмотки.

Вертикальные ряды включают номера катушечных групп, входящих в данную фазу, причем номера последних катушечных групп в зависимости от числа полюсов машины будут:

для фазы I—$6p$—2
" " II—$6p$
" " III—2

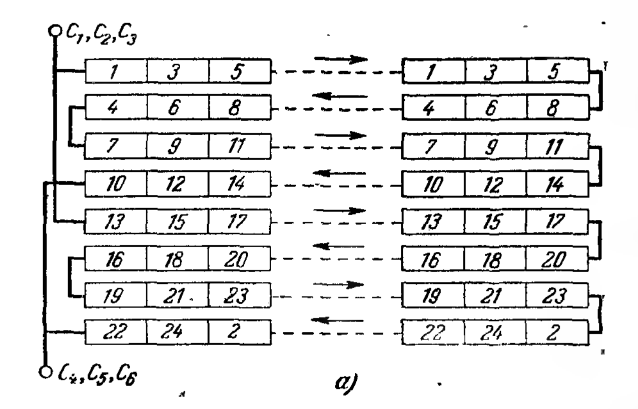
Например, для машины с $2p=48$
для фазы I—6·24—2=142
" " II—6·24=144
" " III—2

Соединение катушечных групп в упрощенной схеме в зависимости от числа параллельных ветвей в фазе производится следующим образом.

При $a=1$ (последовательное соединение) все строки соединяются перемычками, образующими непрерывную «змейку» при последовательном прохождении всех катушечных групп фазы. На рис. 2-23 показано такое со-

единение. Из рисунка видно, что катушечные группы соединяются между собой одноименными выводами (нижний с нижним, верхний с верхним), а для принятого нами обозначения начал и концов катушечных групп конец предыдущей катушечной группы соединяется с началом последующей.

При параллельном соединении (для любого возможного числа параллельных ветвей данной обмотки) направление обхода по всем горизонтальным строкам



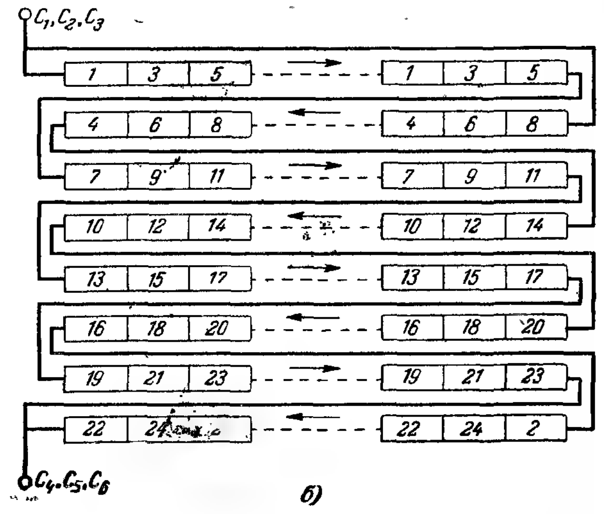


Рис. 2-24. Соединение катушечных групп при $2p=8$ и $a=2$.

в каждой параллельной ветви, если начинать обход от начала фазы, должно совпадать с направлением обхода горизонтальных строк по «змейке» при последовательном соединении. Направления обхода горизонтальных строк на рис. 2-23 и 2-24 показаны стрелками.

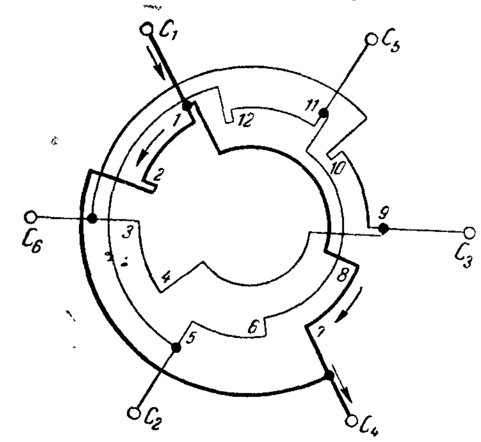


Рис. 2-25. Торцевая схема обмотки.
$2p=2$; $a=2$.

В соответствии с этим правилом на рис. 2-24 показано соединение обмотки с $2p=8$ в две параллельные ветви двумя уже известными нам способами — сосредоточенным (рис. 2-24,*а*) и распределенным (рис. 2-24,*б*).

Наряду с рассмотренными упрощенными схемами (их также называют универсальными) большое распространение получили торцевые, весьма удобные при электрообмоточных работах, так как по своему принципу они являются монтажными схемами.

В этих схемах, так же как и в универсальных, показываются только внутримашинные соединения.

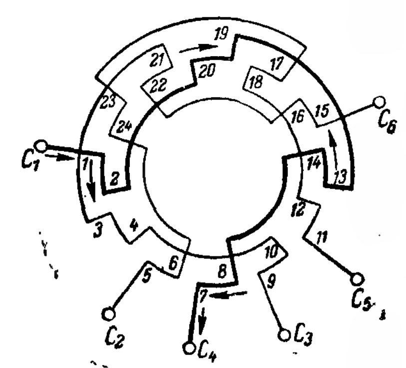


Рис. 2-26. Торцевая схема обмотки.
$2p=4$; $a=1$.

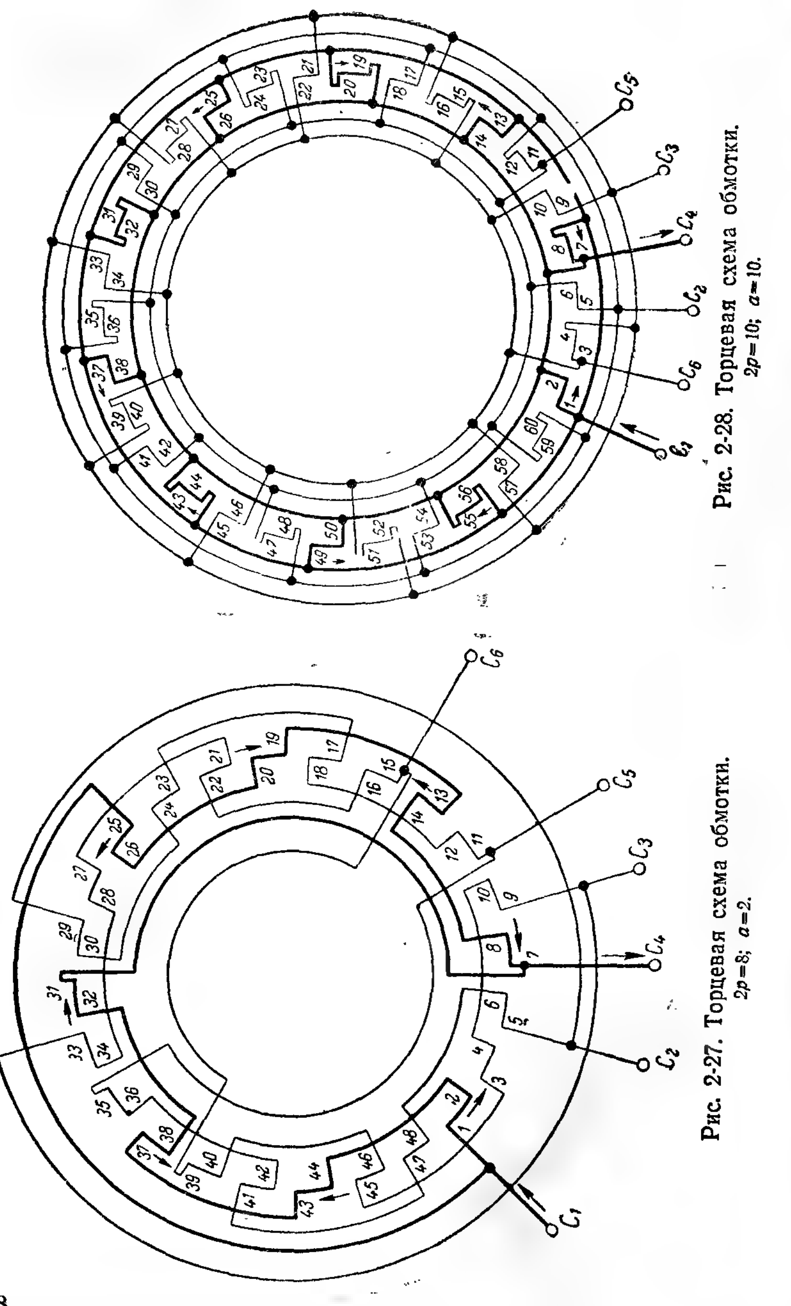


Рис. 2-28. Торцевая схема обмотки. $2p=10$; $a=10$.

Рис. 2-27. Торцевая схема обмотки. $2p=8$; $a=2$.

Для составления торцевой схемы чертят окружность и делят ее на $6p$ равных частей. Каждый из полученных отрезков дуги обозначает катушечную группу (число катушечных групп во всех трех фазах обмотки равно $6p$).

Концы дуг отгибают: одни — к центру окружности (концы групп), другие — наружу (начала групп). Выводы катушечных групп нумеруют: начало первой группы обозначают цифрой *1*, конец—*2*, начало второй катушечной группы — *3*, конец — *4*, начало третьей — *5*, конец — *6* и т. д.

Начало первой катушечной группы принимают за начало фазы I. Тогда начало двух других фаз будет соответственно в третьей и пятой катушечных группах. Следовательно, по принятому условному обозначению выводов торцевой схемы началу фаз I, II и III будут соответственно принадлежать выводы *1*, *5* и *9*.

Далее обозначают направление тока в катушечных группах фазы I. Для этого задаются каким-либо направлением тока в первой катушечной группе и отмечают его стрелкой.

Во второй катушечной группе этой же фазы направление тока будет обратным; в третьей и всех других нечетных группах — совпадающим с направлением в первой группе, в четвертой катушечной группе и всех других четных группах — совпадающим с направлением во второй группе.

В соответствии с заданным числом параллельных ветвей в фазе и соблюдая при этом указанное стрелками направление токов в катушечных группах, соединяют между собой катушечные группы.

Аналогичным образом формируются и две другие фазы.

В качестве примеров приведены простейшие торцевые схемы для двухполюсной машины при $a=2$ (рис. 2-25) и для четырехполюсной машины при $a=1$ (рис. 2-26), а также более сложные схемы обмоток для восьмиполюсной машины при $a=2$ (рис. 2-27) и для десятиполюсной машины при $a=10$ (рис. 2-28).

2-6. СХЕМЫ ОБМОТОК ФАЗОВЫХ РОТОРОВ

В фазовых роторах асинхронных двигателей применяются преимущественно волновые обмотки с двумя стержнями в пазу, уложенными в два слоя. Эти обмотки обычно выполняются с целым числом пазов на

полюс и фазу q, диаметральным шагом, равным полюсному делению τ (за исключением так называемых переходных шагов), и одной ветвью в фазе $a=1$. Иногда применяются волновые обмотки с дробным q, но в этом случае знаменатель дроби равен двум. Обмотки с другим показателем дробности встречаются редко и здесь не рассматриваются.

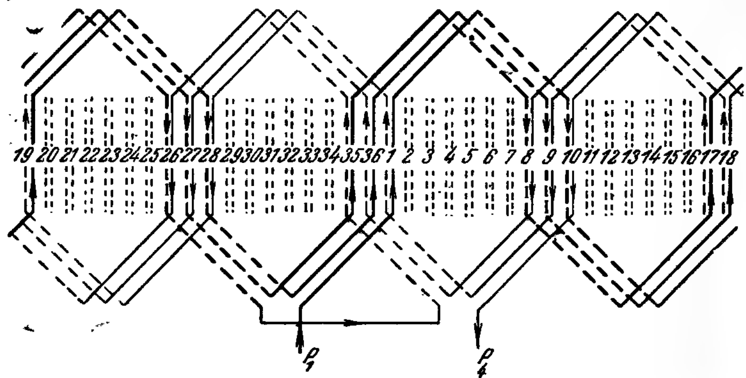


Рис. 2-29. Схема стержневой волновой обмотки ротора. $2p=4$; $z=36$; $q=3$.

Роторы с обмотками, имеющими дробное q, выпускаются электромашиностроительными заводами в случае производственной необходимости использовать один и тот же штамп для вырубки листов для электродвигателей с разным числом полюсов; например, при использовании штампа двухполюсного электродвигателя, у которого q равно 5, для четырехполюсного электродвигателя, у которого в этом случае q равно 2,5.

На рис. 2-29 представлена схема соединения обмотки с $z=36$; $2p=4$ и $q=3$. Для наглядности приведена схема соединения только для одной первой фазы.

Порядок составления схемы следующий: на чертеже развертки пазов ротора отмечаются группы пазов, относящихся к первой фазе. При этом руководствуются тем, что каждая из групп содержит q пазов (в нашем случае 3 паза), а между группами заключено $2q$ (6) пазов. Естественно, что число таких групп равно числу полюсов $2p$ (4).

За первый паз удобней принять крайний правый в какой-нибудь из указанных групп. Таким образом, четыре

группы составятся из пазов: *35*, *36* и *1*; *8*, *9* и *10*; *17*, *18* и *19*; *26*, *27* и *28*.

Верхний стержень паза *1* принимается за начало первой фазы (P_1).

Затем нужно q раз (в нашем случае 3 раза) обойти окружность ротора в направлении, определяемом стрелкой на вводе P_1, сделав при каждом обходе $2p—1$ (3) диаметральных шага и один, последний шаг, укороченный на один паз.

Следует отметить, что если бы последний шаг (называемый переходным) не был укорочен, то обмотка замкнулась бы на себя. Этого замыкания обмотки можно избежать, если переходный шаг не укоротить, а удлинить на один паз, т. е. применить удлиненный переходный шаг. Обмотка с удлиненным переходным шагом менее конструктивна, лобовые части ее в местах, соответствующих переходам, имеют большие вылеты по сравнению с другими лобовыми частями. Однако некоторыми заводами применяются роторные обмотки с удлиненным шагом. При ремонте таких обмоток увеличивается возможность использования старой меди стержней путем перевода обмотки на укороченный шаг.

В рассматриваемой схеме первые три обхода займут пазы:
первый обход *1* верх — *10* низ — *19* верх — *28* низ,
второй обход *36* верх — *9* низ — *18* верх — *27* низ,
третий обход *35* верх — *8* низ — *17* верх — *26* низ.

После q (3) обходов занятыми оказалась только половина пазов первой фазы. Для того чтобы занять вторую половину пазов, обеспечив при этом правильное образование полюсов, следует сделать еще такое же количество обходов, но в противоположном направлении. Эти обходы следует начинать с нижнего стержня паза *35* (этот паз является левым в группе пазов, с которой была начата обмотка), а между стержнями в пазах *26* и *35* (в общем случае между пазами $z+2—4q$ и $z+2—q$) установить перемычку — так называемую «поперечку».

Последующие обходы займут пазы:
четвертый обход *35* низ — *26* верх — *17* низ — *8* верх,
пятый обход *36* низ — *27* верх — *18* низ — *9* верх,
шестой обход *1* низ — *28* верх — *19* низ — *10* верх.

(На рис. 2-29 обходы *4*, *5* и *6* для наглядности выполнены более тонкими линиями.)

Нижний стержень паза *10* является выводным концом первой фазы (P_4).

Применяется и довольно распространен другой вариант второй группы обходов, при котором за начало обхода принимается нижний стержень паза *17* (паза $z+2—7q$).

Порядок обходов при этом варианте:
четвертый обход *17* низ — *8* верх — *35* низ — *26* верх,

пятый обход *18* низ — *9* верх — *36* низ — *27* верх,
шестой обход *19* низ — *10* верх — *1* низ — *28* верх.

Верхний стержень паза *28* является концом первой фазы (P_4).

По своим электрическим показателям первый и второй варианты обходов идентичны.

Во избежание небаланса при вращении ротора начала двух других фаз необходимо расположить симметрично по окружности ротора, сдвинув их по отношению друг к другу на 120 геометрических градусов. При этом, естественно, должна быть соблюдена также электрическая симметрия, условием которой является сдвиг начал фаз на 120 плюс n 360 или 240 плюс n 360 *эл. град.*

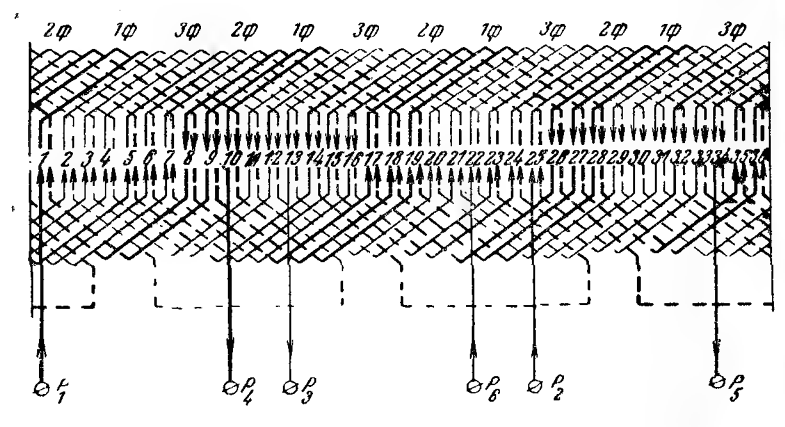


Рис. 2-30. Схема обмотки ротора с укороченными переходами. $2p=4$; $z=36$; $q=3$.

Так как вся рассматриваемая обмотка содержит 720 *эл. град,* то симметричное расположение по окружности начал фаз соответствует 240 *эл. град*, что удовлетворяет условиям симметрии.

Следует указать, что при числе полюсов, кратном трем, электрически симметричная обмотка не выполнима при сдвиге начал фаз на 120 геометрических градусов, вследствие чего ротор обычно нуждается в уравновешивании балансировочными грузами. В этих случаях для более равномерного распределения начал фаз их располагают со сдвигом между собой на $4qn$ пазов, где n — любое целое число, чаще всего равное единице.

В рассматриваемой же нами обмотке, располагая начало второй фазы P_2 и третьей фазы P_3 симметрично по

окружности в пазах *25* и *13* и производя обходы пазов каждой из этих фаз в том же порядке и с теми же шагами, как это было выполнено для первой фазы, получаем схему всей обмотки, изображенную на рис. 2-30. Схема обмотки с аналогичными параметрами, но с удлиненным переходным шагом указана на рис. 2-31.

Как указывалось выше, иногда применяются обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу, с показателем дробности $^1/_2$.

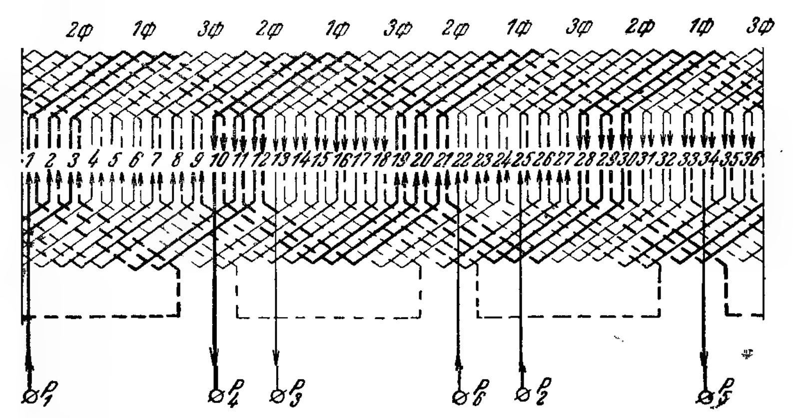


Рис. 2-31. Схема обмотки ротора с удлиненными переходами. $2p=4$; $z=36$; $q=3$.

При $q=b+{}^1/_2$, где b — целое число, количество пазов, приходящихся на один полюс, составляет $3b+1^1/_2$, что также не является целым числом, и поэтому шаг обмотки не может быть диаметральным. Вследствие этого такие обмотки выполняются с разными шагами с передней и задней сторон ротора. Обычно с передней стороны ротора принимаются шаги $3b+1$, а с задней $3b+2$.

При обходе ротора указанными шагами, чтобы не замкнуть обмотку на себя, последний шаг обхода с передней стороны делается укороченным на один паз аналогично тому, как это применялось в обмотках с целым числом пазов на полюс и фазу. Число обходов в первой половине обмотки отличается от числа обходов во второй половине обмотки на единицу.

Схема обмотки (одной фазы) для электродвигателя с параметрами $z=30$, $2p=4$ и $q=2^1/_2$ представлена на рис. 2-32.

Для обмоток с целым числом q данные для составления схем могут быть определены по расчетным формулам, приведенным в табл. 2-3.

В некоторых случаях в обмотке применяется комбинирование укороченного и удлиненного шагов. При этом становится возможным избежать перекрещивания выводных концов с «поперечками», что упрощает конструктивное выполнение выводов обмотки.

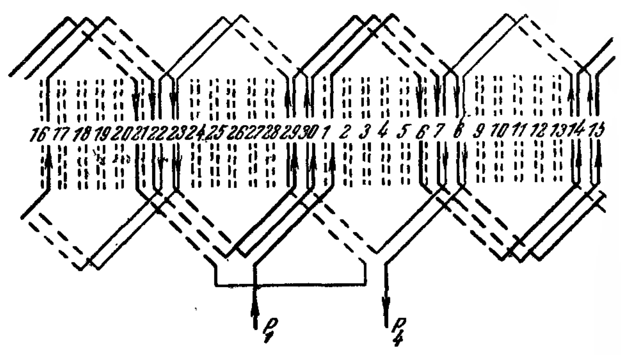


Рис. 2-32. Схема обмотки ротора с дробным числом пазов на полюс и фазу.
$2p=4$; $z=30$; $q=2^1/_2$.

Таблица 2-3

Расчетные формулы для составления схем роторных волновых обмоток

Наименование	Вид обмотки: с укороченным шагом, 1-й вариант	с укороченным шагом, 2-й вариант	с удлиненным шагом
Начало I фазы (P_1)—верхний стержень в пазу	1	1	1
Конец I фазы (P_4)—верхний стержень в пазу	$1+3q$	$z+1-3q$	$1+3q$
Перемычка между нижними стержнями в пазах	$z+2-4q$ и $z+2-q$	$z+2-4q$ и $z+2-7q$	$z-2$ и q

Примечание. Для двух других фаз соответствующее значение увеличивается: при p, некратном 3,—к номерам пазов добавляется $z/3$ для одной фазы и $2z/3$ для другой фазы.

При p, кратном 3,—к номерам пазов добавляется $4qn$ для одной фазы и $8qn$ для другой фазы, где n—целое число, обычно равное единице. Полученное значение можно сдвигать на целое число раз по $6q$.

Глава третья

ПОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ И ПЕРЕСЧЕТЫ ОБМОТОК

3-1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Поступающие в ремонт электродвигатели, как правило, имеют заводские паспортные щитки и обмотку, сохранившуюся в такой степени, что не составляет труда определить обмоточные данные электродвигателя.

В большинстве случаев при ремонте требуется сохранить заводские параметры электродвигателя.

Электроремонтные цехи предприятий, а тем более специализированные электроремонтные заводы располагают альбомами обмоточных данных электродвигателей самых разнообразных типов и серий, как выпускаемых в настоящее время, так и снятых с производства, поэтому представляется весьма вероятным, что в альбомах содержатся обмоточные данные электродвигателя, подлежащего ремонту.

При отсутствии обмоточных данных в альбомах сохранение типа обмотки, ее схемы соединений, числа витков и размера провода без выполнения хотя бы сокращенного поверочного расчета было бы неправильным. При определении обмоточных данных электродвигателя могли быть допущены ошибки и без их учета перемотка была бы произведена по искаженным данным. Электродвигатель мог ремонтироваться ранее с отступлениями от заводских обмоточных данных, причем эти отступления могли быть недопустимыми.

Кроме того, при ремонте могут отсутствовать требуемые провода или изоляция, и хотя в этом случае отступления от заводского исполнения являются неизбежными, допустимость их должна быть технически обоснована.

Задачей поверочного расчета является проверка обмоточных данных и параметров ремонтируемого электродвигателя, сопоставление его электромагнитных нагрузок с принятыми, допустимыми величинами.

При ремонтах, связанных с изменением напряжения и скорости вращения, задачей расчета является определение обмоточных данных для новых измененных параметров электродвигателя.

Таблица 3-1

Обозначения и размерности расчетных величин

Обозначение	Наименование	Единица измерения
P	Номинальная мощность электродвигателя	*квт*
P'	Кажущаяся мощность электродвигателя	*ква*
f	Частота тока	*гц*
η	Коэффициент полезного действия (к. п. д.)	—
$\cos\varphi$	Коэффициент мощности	—
p	Число пар полюсов	—
n_c	Синхронная скорость вращения	*об/мин*
n	Действительная скорость вращения	*об/мин*
s	Скольжение	%
D_a	Наружный диаметр пакета стали	*см*
D_i	Внутренний диаметр пакета стали	*см*
l_t	Полная длина пакета стали	*см*
l	Активная длина пакета стали	*см*
$n_к$	Число радиальных вентиляционных каналов	—
$b_к$	Ширина радиального вентиляционного канала	*см*
$n'_к$	Число рядов аксиальных вентиляционных каналов	—
$d'_к$	Диаметр аксиального вентиляционного канала	*см*
k	Коэффициент заполнения пакета стали	—
z	Число пазов	—
t_z	Зубцовый шаг	*см*
α	Число электрических градусов	*эл. град*
b	Расчетная ширина зубца	*см*
b'	Ширина зубца в самом узком месте	*см*
b''	Ширина зубца в самом широком месте	*см*
$Q_з$	Площадь сечения зубцов одного полюса	*см*^{2}
a	Ширина паза	*см*
h_z	Высота паза	*см*
Q_z	Площадь паза	*см*^{2}
h_a	Высота тела пакета стали	*см*
τ	Длина полюсного деления	*см*
Q_δ	Площадь полюсного деления в зазоре	*см*^{2}
U	Линейное напряжение	*в*
$U_ф$	Фазное напряжение	*в*
$I_ф$	Ток в фазе	*а*
$I_{х.х}$	Ток холостого хода электродвигателя	*а*
I_c	Ток в стержне короткозамкнутого ротора	*а*
$I_к$	Ток в замыкающем кольце короткозамкнутого ротора	*а*
$w_{об}$	Общее число витков в фазе	—
$w_{эфф}$	Эффективное число витков в фазе	—
$S_{эфф}$	Эффективное число проводников в пазу	—
$Q_{эфф}$	Площадь сечения эффективного провода	*мм*^{2}
$q_э$	Площадь сечения элементарного проводника	*мм*^{2}
m	Число элементарных проводников	—
d	Диаметр неизолированного провода	*мм*
$d_{из}$	Диаметр изолированного провода	*мм*
a	Число параллельных ветвей в фазе	—

Обозначение	Наименование	Единица измерения
y	Шаг обмотки	—
q	Число пазов на полюс и фазу	—
k_β	Обмоточный коэффициент	—
B_δ	Индукция в воздушном зазоре	*тл*
B_a	Индукция в теле пакета стали	*тл*
$B_з$	Индукция в зубцах	*тл*
j	Плотность тока	*а/мм*^{2}
A	Линейная нагрузка	*а/см*
$\rho_м$	Удельное сопротивление меди	*ом·мм*^{2}*/м*
ρ_a	Удельное сопротивление алюминия	*ом·мм*^{2}*/м*

К обозначениям, относящимся к статору, прибавляется индекс 1 (например, число пазов статора обозначается z_1).

К обозначениям, относящимся к ротору, прибавляется индекс 2 (например, число пазов ротора обозначается z_2).

Буквенное обозначение величин, применяемых при поверочных расчетах и пересчетах электродвигателей, и их размерность указаны в табл. 3-1.

3-2. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ СТАТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

На основании паспортных и обмоточных данных, а также снятых с натуры размеров электродвигателя определяются следующие необходимые для расчета величины.

1. Число полюсов электродвигателя

$$2p = \frac{120f}{n_c}, \tag{3-1}$$

где f — частота тока в питающей сети, *гц*;

n_c — синхронная скорость вращения электродвигателя (скорость вращения магнитного поля статора).

Для принятой в СССР для промышленных целей частоты 50 *гц*

$$2p = \frac{6\,000}{n_c}. \tag{3-2}$$

На паспортном щитке электродвигателя указывается не синхронная скорость вращения, а действительная n,

отличающаяся от синхронной на величину скольжения.

Скольжение при номинальной мощности электродвигателя выражается в процентах по отношению к синхронной скорости

$$s = \frac{n_c - n}{n_c} 100, \%_0 \tag{3-3}$$

и составляет в зависимости от мощности электродвигателя 1,5—5%.

Таким образом, для определения числа полюсов следует частное от деления 6 000 на число, указывающее действительную скорость вращения, уменьшить на 1,5—5% — до ближайшего целого четного числа.

2. Полюсное деление

$$\tau = \frac{\pi D_{i1}}{2p}, \text{ см}, \tag{3-4}$$

где D_{i1} — внутренний диаметр статора (диаметр расточки), *см*.

3. Зубцовый шаг

$$t_{z1} = \frac{\pi D_{i1}}{z_1}, \text{ см}, \tag{3-5}$$

где z_1 — число пазов статора.

4. Активная длина пакета статора

$$l_1 = k_1(l_{t1} - n_{к1} b_{к1}), \text{ см}, \tag{3-6}$$

где l_{t1} — полная длина пакета стали (включая радиальные вентиляционные каналы), *см*;
$n_{к1}$ — число вентиляционных каналов;
$b_{к1}$ — ширина вентиляционного канала, *см*;
k_1 — коэффициент заполнения пакета стали, зависящий от толщины листов, вида межлистовой изоляции, а также учитывающий неплотное прилегание листов друг к другу. Значение коэффициента k_1 приведено в табл. 3-2.

5. Площадь паза Q_{z1}, *см²*.

Наиболее распространенные формы пазов и формулы для определения их площадей приведены на рис. 3-1.

6. Расчетная ширина зубца:

а) для зубца переменного сечения

$$b_1 = \frac{2}{3} b'_1 + \frac{1}{3} b''_1, \text{ см}, \tag{3-7}$$

Таблица 3-2

Значение коэффициента заполнения пакета стали

Толщина листов статора, *мм*	Род изоляции листов		
	Бумага	Лак	Без изоляции или с оксидной изоляцией
0,5	0,9	0,93	0,95
0,35	0,87	0,91	0,93

где b'_1 — ширина зубца в самом узком месте, *см*;
b''_1 — ширина зубца в самом широком месте, *см*;

б) для зубца трапецеидальной формы (при пазе постоянного сечения, т. е. при пазе с параллельными боковыми стенками)

$$b_1 = \frac{\pi\left(D_{i1} + \frac{2}{3} h_{z1}\right)}{z_1} - a_1, \text{ см}, \tag{3-8}$$

где h_{z1} — высота паза, *см*;
a_1 — ширина паза, *см*.

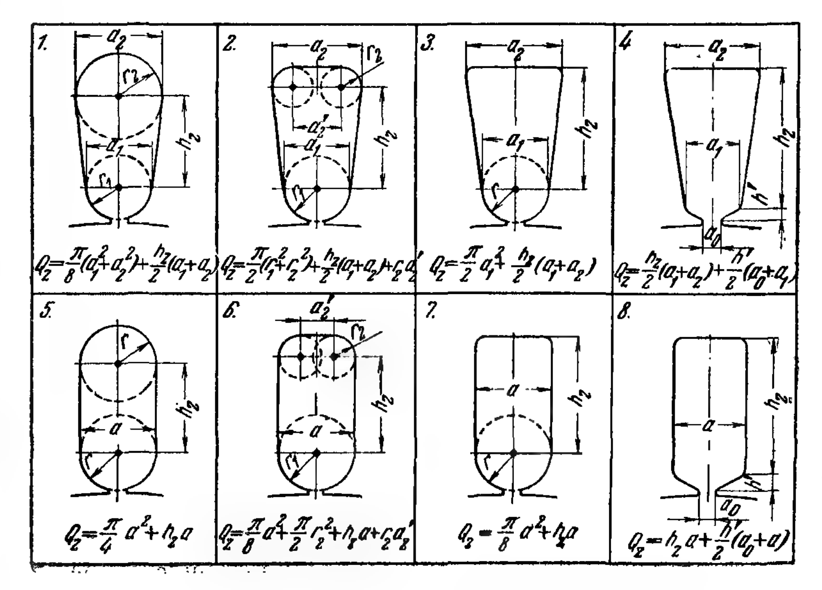


Рис. 3-1. Наиболее распространенные формы пазов.

7. Высота спинки

$$h_{a1} = \frac{D_{a1} - D_{i1}}{2} - h_{z1},\ см, \qquad (3\text{-}9)$$

где D_{a1} — наружный диаметр пакета стали, *см*.

Площадь полюсного деления (площадь поперечного сечения зазора)

$$Q_\delta = \tau l_{i1},\ см^2. \qquad (3\text{-}10)$$

9. Площадь сечения спинки

$$Q_{a1} = h_{a1} l_1,\ см^2. \qquad (3\text{-}11)$$

Если в пакете стали имеются аксиальные каналы, то

$$Q_{a1} = \left(h_{a1} - \frac{2}{3} n'_к d'_к\right) l_1,\ см^2, \qquad (3\text{-}12)$$

где $n'_к$ — число рядов аксиальных каналов;

$d'_к$ — диаметр канала, *см*.

10. Площадь сечения зубцов одного полюса

$$Q_{з1} = \frac{z_1 b_1}{2p} l_1,\ см^2. \qquad (3\text{-}13)$$

Как указывалось выше, задачей поверочного расчета является определение электромагнитных нагрузок и сравнение их с допустимыми.

Для статора характерными величинами являются:

B_δ — индукция в воздушном зазоре, *тл*;

B_{a1} — индукция в спинке, *тл*;

$B_{з1}$ — индукция в зубцах, *тл*;

j_1 — плотность тока, *а/мм²*;

A_1 — линейная нагрузка, *а/см*;

K'_1 — коэффициент заполнения свободного сечения паза.

Значения электромагнитных нагрузок для асинхронных двигателей в зависимости от их мощности указаны в табл. 3-3.

Если в результате поверочного расчета будет установлено, что электромагнитные нагрузки находятся в допустимых пределах, можно при ремонте полностью копировать старую обмотку.

Большое отклонение вычисленных нагрузок от допустимых может быть результатом ошибок при изготовлении электродвигателя на заводе или при его предыдущем ремонте.

Таблица 3-3

Значение электромагнитных нагрузок для асинхронных двигателей

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Мощность, *квт*			
			Свыше 100	10—100	1—10	До 1
Индукция в воздушном зазоре	B_δ	*тл*	1,0—0,9	0,9—0,7	0,7—0,6	0,6—0,3
Индукция в спинке статора	B_{a1}	»	1,7—1,4	1,6—1,3	1,6—1,2	1,5—1,1
Индукция в спинке ротора	B_{a2}	»	1,4—1,2	1,3—1,2	1,2—1,0	1,1—0,9
Индукция в зубцах статора	$B_{з1}$	»	2,0—1,8	1,8—1,4	1,6—1,4	1,5—1,3
Индукция в зубцах ротора	$B_{з2}$	»	1,8—1,6	1,6—1,4	1,4—1,3	1,3—1,1
Плотность тока в обмотке статора	j_1	*а/мм²*	5—3	5,5—4	6—5	8—6
Плотность тока в фазовой обмотке ротора	j_2	»	5,5—5	6—5,5	—	—
Плотность тока в стержнях короткозамкнутого ротора	$j_с$	»	7,0—5,5	8,0—7,0	8,5—8,0	9,0—8,5
Плотность тока в замыкающем кольце короткозамкнутого ротора	$j_к$	»	5,0—4,0	5,5—5,0	6,0—5,5	7,0—6,5
Линейная нагрузка обмотки статора	A_1	*а/см*	350—600	250—400	200—300	100—200
Коэффициент заполнения свободного сечения паза статора	K'_1	—	0,65—0,70 для обмоток из медного провода; 0,70—0,75 для обмоток из алюминиевого провода			
Произведение плотности тока на линейную нагрузку обмотки статора	$j_1 A_1$	—	—	2 000	—	1 700

Не исключена возможность, что паспорт и обмоточные данные не соответствуют друг другу из-за того, что предыдущий ремонт электродвигателя производился с изменением номинальных параметров, но это не было отражено на заводском щитке.

Также возможно, что завод-изготовитель по какой-либо производственной причине намеренно отошел от оптимального технического решения. Одной из таких причин может быть желание использовать существующие вырубные штампы от какой-нибудь определенной машины для штамповки листов стали к другой электрической машине с близкими, но не полностью совпадающими параметрами.

Расчетные формулы:

1. Индукция в воздушном зазоре

$$B_\delta = \frac{2,5 p U_{\text{ф}1} a_1}{l_{t1} z_1 D_{i1} S_{\text{эфф}1} k_{\beta 1}} 10^2, \text{ тл}, \quad (3\text{-}14)$$

где $U_{\text{ф}1}$ — фазное напряжение, в;

$U_{\text{ф}1} = U$ — при соединении фаз в треугольник, в; (3-15)

$U_{\text{ф}1} = \frac{U}{\sqrt{3}}$ — при соединении фаз в звезду, в; (3-16)

U — линейное напряжение, подводимое для питания электродвигателя;

$S_{\text{эфф}1}$ — число эффективных проводов в пазу:

$$S_{\text{эфф}1} = \frac{6 w_{\text{эфф}1} a_1}{z_1} = \frac{6 w_{\text{об}1}}{z_1}; \quad (3\text{-}17)$$

$w_{\text{об}1}$ — общее число витков в фазе;

a_1 — число параллельных ветвей в фазе;

$w_{\text{эфф}1}$ — число эффективных (последовательно соединенных) витков в фазе;

$k_{\beta 1}$ — обмоточный коэффициент,

Величина обмоточного коэффициента зависит от числа пазов, приходящихся на полюс и фазу q_1, и от шага обмотки y_1. Для наиболее употребительных шагов значение обмоточного коэффициента приведено в табл. 3-4.

Таблица 3-4

Значение обмоточных коэффициентов трехфазной обмотки

Число катушек в катушечной группе	Сокращение шага обмотки в долях единицы				
	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
	Обмоточный коэффициент				
1	0,997	0,988	0,972	0,951	0,924
2	0,963	0,954	0,939	0,919	0,893
3	0,957	0,948	0,933	0,913	0,887
4	0,955	0,947	0,931	0,911	0,885
5—7	0,954	0,946	0,930	0,910	0,884
8	0,953	0,945	0,929	0,909	0,883
9 и более	0,952	0,944	0,928	0,908	0,882

Продолжение табл. 3-4

Число катушек в катушечной группе	Сокращение шага обмотки в долях единицы				
	0,70	0,65	0,60	0,55	0,5
	Обмоточный коэффициент				
1	0,891	0,853	0,809	0,760	0,700
2	0,861	0,824	0,781	0,734	0,676
3	0,855	0,819	0,779	0,730	0,672
4	0,854	0,817	0,777	0,728	0,671
5—7	0,853	0,816	0,774	0,727	0,670
8	0,852	0,815	0,773	0,727	0,669
9 и более	0,851	0,815	0,773	0,726	0,668

Для промежуточных значений сокращения шага обмотки коэффициент определяется интерполяцией или по формуле

$$k_{\beta 1} = \sin\left(\frac{y_1}{\tau} 90^\circ\right) \frac{0,5}{q_1 \sin \frac{30^\circ}{q_1}}. \quad (3\text{-}18)$$

2. Индукция в зубцах

$$B_{з1} = B_\delta \frac{t_{z1}}{b_1} \cdot \frac{l_{t1}}{l_1}, \text{ тл}, \quad (3\text{-}19)$$

где t_{z1} — зубцовый шаг,

3. Индукция в спинке

$$B_{a1} = 0{,}55 B_\delta \cdot \frac{D_{i1}}{h_{a1}} \cdot \frac{l_{t1}}{l_1} \cdot \frac{1}{p}, \ \textit{тл}. \qquad (3\text{-}20)$$

4. Плотность тока

$$j_1 = \frac{I_{\phi 1}}{Q_{\text{эфф}1} a_1} = \frac{I_{\phi 1}}{q_{\text{э}1} m_1 a_1}, \ a/\textit{мм}^2, \qquad (3\text{-}21)$$

где $Q_{\text{эфф}1}$ — площадь сечения эффективного провода в пазу, *мм*²;

$q_{\text{э}1}$ — площадь сечения элементарного проводника, *мм*²;

m_1 — число элементарных проводников в эффективном проводе паза;

$I_{\phi 1}$ — номинальный ток в фазе, *а*,

$$I_{\phi 1} = \frac{P \cdot 1\,000}{\sqrt{3}\, U \eta \cos\varphi}, \ a, \text{ — при соединении фаз в звезду;} \qquad (3\text{-}22)$$

$$I_{\phi 1} = \frac{P \cdot 1\,000}{3 U \eta \cos\varphi}, \ a, \text{ — при соединении фаз в треугольник,} \qquad (3\text{-}23)$$

P — номинальная мощность электродвигателя (мощность на валу), *квт*;

η — коэффициент полезного действия;

$\cos\varphi$ — коэффициент мощности.

Для приближенного определения значений $\cos\varphi$ и η, если они не указаны на заводском паспортном щитке, можно пользоваться табл. 3-5—3-8.

5. Линейная нагрузка

$$A_1 = \frac{I_{\phi 1} z_1 S_{\text{эфф}1}}{\pi D_{i1} a_1}, \ a/\textit{см}. \qquad (3\text{-}24)$$

Одним из факторов, определяющих нагрев электродвигателя, является произведение $j_1 A_1$. Его допустимое значение, приведенное в табл. 3-3, относится к электродвигателям с обмоткой из медного провода. Для электродвигателей с алюминиевой обмоткой допустимое значение $j_1 A_1$ обычно принимают на 15—20% ниже.

6. Коэффициент заполнения паза.

Переходя к определению коэффициента заполнения паза, следует отметить, что в технической литературе по этому вопросу нет единого мнения. Некоторыми

Таблица 3-5

Коэффициенты полезного действия и мощности электродвигателей защищенного исполнения с короткозамкнутым ротором

Мощность, *квт*	η, %				cos φ			
	при скорости вращения (синхронной), *об/мин*							
	3 000	1 500	1 000	750	3 000	1 500	1 000	750
0,6	—	74,0	—	—	—	0,76	—	—
1,0	79,0	78,5	77,0	—	0,86	0,79	0,72	—
1,7	81,5	81,5	79,5	—	0,87	0,82	0,75	—
2,8	84,0	83,5	82,5	—	0,88	0,84	0,78	—
4,5	85,5	85,5	84,5	83,5	0,88	0,85	0,80	0,76
7	87,0	87,0	86,0	85,0	0,89	0,86	0,81	0,78
10	87,5	87,5	86,5	85,0	0,89	0,88	0,82	0,80
14	87,5	88,5	87,0	87,0	0,89	0,88	0,83	0,81
20	88,5	89,0	88,0	88,0	0,90	0,88	0,84	0,82
28	89,0	90,0	89,0	89,0	0,90	0,88	0,85	0,83
40	90,0	90,5	90,0	90,0	0,91	0,89	0,86	0,84
55	90,5	91,0	91,0	91,0	0,91	0,89	0,87	0,84
75	91,0	91,5	92,5	—	0,91	0,89	0,88	—
100	91,5	92,0	—	—	0,92	0,89	—	—

Таблица 3-6

Коэффициенты полезного действия и мощности закрытых обдуваемых электродвигателей с короткозамкнутым ротором

Мощность, *квт*	η, %				cos φ			
	при скорости вращения (синхронной), *об/мин*							
	3 000	1 500	1 000	750	3 000	1 500	1 000	750
0,6	76,0	74,0	—	—	0,85	0,76	—	—
1,0	79,0	78,5	77,0	—	0,86	0,79	0,72	—
1,7	81,5	81,5	79,5	—	0,87	0,82	0,75	—
2,8	84,0	83,5	82,5	—	0,88	0,84	0,78	—
4,5	85,5	85,5	84,5	84,5	0,88	0,85	0,80	0,76
7,0	87,5	87,0	86,0	86,0	0,89	0,86	0,81	0,78
10	87,5	87,5	87,0	87,0	0,89	0,88	0,82	0,80
14	88,0	88,5	88,0	87,5	0,90	0,88	0,83	0,81
20	88,5	89,0	88,5	88,0	0,90	0,88	0,84	0,82
28	89,5	90,0	89,0	89,0	0,91	0,88	0,86	0,83
40	89,5	90,5	90,0	90,0	0,91	0,89	0,87	0,84
55	90,0	91,0	91,0	91,0	0,92	0,89	0,88	0,84
75	90,5	91,5	92,0	—	0,92	0,90	0,89	—
100	91,0	92,0	—	—	0,92	0,90	—	—

Таблица 3-7

Коэффициенты полезного действия и мощности электродвигателей защищенного исполнения с фазовым ротором

Мощность, *квт*	η, %			cos φ		
	при скорости вращения (синхронной), *об/мин*					
	1 500	1 000	750	1 500	1 000	750
1,7	—	72,5	—	—	0,72	—
2,8	78,0	75,5	—	0,82	0,74	—
4,5	80,0	78,5	76,5	0,83	0,76	0,72
7	82,0	81,0	79,5	0,84	0,78	0,74
10	83,5	82,5	81,5	0,85	0,79	0,76
14	84,5	84,0	83,0	0,86	0,80	0,77
20	86,0	85,0	84,5	0,86	0,81	0,79
28	87,0	86,5	86,0	0,87	0,82	0,80
40	88,0	87,5	87,5	0,87	0,83	0,81
55	89,0	88,5	88,5	0,87	0,83	0,82
75	90,0	89,5	—	0,88	0,84	—
100	90,5	—	—	0,88	—	—

Таблица 3-8

Коэффициенты полезного действия и мощности взрывобезопасных электродвигателей

Мощность, *квт*	η, %			cos φ		
	при скорости вращения (синхронной), *об/мин*					
	1 500	1 000	750	1 500	1 000	750
1,7	—	72,5	—	—	0,72	—
2,8	78,0	75,5	—	0,82	0,74	—
4,5	80,0	78,5	76,5	0,83	0,76	0,72
7,0	82,0	81,0	79,5	0,84	0,78	0,74
10	83,5	82,5	81,5	0,85	0,79	0,76
14	84,5	84,0	83,0	0,86	0,80	0,77
20	86,0	85,0	84,5	0,86	0,81	0,79
28	87,0	86,5	86,0	0,87	0,82	0,80
40	88,0	87,5	87,5	0,87	0,83	0,81
55	89,0	88,5	88,5	0,87	0,83	0,82
75	90,0	89,5	—	0,88	0,84	—
100	90,5	—	—	0,88	—	—

авторами коэффициент заполнения паза определяется как отношение площади сечения всех неизолированных проводов, заложенных в паз, ко всей площади паза

$$K_1 = \frac{S_{эфф\cdot 1} Q_{эфф\,1}}{Q_{z_1}}. \qquad (3\text{-}25)$$

Другие авторы этот коэффициент определяют как отношение площади сечения всех изолированных проводов, заложенных в паз, к площади паза. Коэффициент заполнения паза определяется также как отношение площади сечения всех изолированных проводов, заложенных в паз, к свободному сечению паза (т. е. к площади паза за вычетом площадей, занимаемых клином, межслоевой прокладкой и пазовой изоляцией).

Определение коэффициента заполнения паза является очень ответственной частью расчета, непосредственно влияющей на конечные результаты; к его выбору следует отнестись очень серьезно, проанализировав все влияющие на него факторы.

Указанный в формуле (3-25) коэффициент может быть представлен как произведение трех частных коэффициентов:

$$K_1 = K'_1 K''_1 K'''_1. \qquad (3\text{-}26)$$

Коэффициент заполнения провода K'''_1 представляет собой отношение площади сечения неизолированного провода к площади прямоугольника, описанного вокруг изолированного провода. Для круглых проводов:

$$K'''_1 = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d_1}{d_{из1}}\right)^2, \qquad (3\text{-}27)$$

где d_1 — диаметр неизолированного провода, *мм*;

$d_{из1}$ — диаметр изолированного провода, *мм*.

С уменьшением толщины изоляции и увеличением диаметра провода этот коэффициент возрастает. Изменяется K'''_1 в значительных пределах: например, для провода марки ПБД диаметром 0,5 *мм* он составляет 0,38, а для такого же провода марки ПЭВ-2 равен 0,71. В каждом отдельном случае этот коэффициент может быть точно определен по соответствующим таблицам обмоточных проводов.

Коэффициент свободного сечения паза K''_1 представляет собой отношение свободной площади паза, т. е.

всей площади паза в свету, за исключением площадей, занимаемых клином, межслоевой прокладкой и пазовой изоляцией, к площади паза в свету. Коэффициент зависит от номинального напряжения электродвигателя — с увеличением напряжения он уменьшается; от типа обмотки, так как при однослойной обмотке межслоевые прокладки отсутствуют; от электроизоляционных качеств материалов пазовой изоляции, т. е. от ее толщины, и, наконец, от конфигурации паза; при одной и той же площади паза для узких глубоких пазов этот коэффициент меньше, чем для широких неглубоких.

Для электродвигателей напряжением до 500 *в* и мощностью до 100 *квт* величина коэффициента K''_1 составляет 0,7—0,8. Для крупных электродвигателей напряжением 3 *кв* и выше этот коэффициент равен 0,6—0,75. В каждом отдельном случае коэффициент свободного сечения паза легко определяется с достаточной степенью точности путем нанесения на эскиз паза его изоляции и прокладок и вычисления площади, занимаемой этой изоляцией.

Коэффициент заполнения свободного сечения паза K'_1 есть отношение суммы площадей прямоугольников, описанных вокруг всех проводов, заложенных в паз, к свободному сечению паза. Коэффициент K'_1 зависит как от толщины и материала проводов, так и от квалификации обмотчиков, производящих укладку проводов. Изменяется коэффициент K'_1 в зависимости от указанных факторов в пределах 0,65—0,70 для медных обмоток и в пределах 0,70—0,75 для алюминиевых обмоток. Повышение этого коэффициента сверх указанной величины влечет за собой повреждение витковой изоляции.

3-3. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ФАЗОВОЙ ОБМОТКОЙ

Аналогично для ротора, как и для статора, на основании обмоточных данных и снятых с натуры размеров определяются следующие необходимые для расчета величины.

1. Зубцовый шаг

$$t_{z2} = \frac{\pi D_{a2}}{z_2}, \text{ см}, \quad (3\text{-}28)$$

где D_{a2} — наружный диаметр ротора, *см*;
z_2 — число пазов ротора.

2. Активная длина пакета стали

$$l_2 = k_1(l_{t2} - n_{к2}b_{к2}), \text{ см}, \quad (3\text{-}29)$$

где l_{t2} — полная длина пакета стали (включая радиальные вентиляционные каналы), *см*;
$n_{к2}$ — число вентиляционных каналов;
$b_{к2}$ — ширина вентиляционного канала, *см*;
k_1 — коэффициент заполнения пакета стали согласно табл. 3-2.

3. Площадь паза Q_{z2}, *см*^{2}.

Наиболее распространенными являются пазы с параллельными боковыми стенками. Определение их площади не представляет труда.

4. Расчетная ширина зубца:

а) для зубца переменного сечения

$$b_2 = \frac{2}{3} b'_2 + \frac{1}{3} b''_2, \text{ см}, \quad (3\text{-}30)$$

где b'_2 — ширина зубца в самом широком месте, *см*;
b''_2 — ширина зубца в самом узком месте, *см*;

б) для зубца трапецеидальной формы

$$b_2 = \frac{\pi\left(D_{a2} - \frac{2}{3} h_{z2}\right)}{z_2} - a_2, \text{ см}, \quad (3\text{-}31)$$

где h_{z2} — высота паза, *см*;
a_2 — ширина паза, *см*;
D_{a2} — наружный диаметр ротора, *см*;

$$D_{a2} = D_{i1} - 2\delta, \text{ см}; \quad (3\text{-}32)$$

δ — воздушный зазор между статором и ротором, *см*.

5. Высота тела ротора

$$h_{a2} = \frac{D_{a2} - D_{i2}}{2} - h_{z2}, \text{ см}, \quad (3\text{-}33)$$

где D_{i2} — внутренний диаметр ротора, *см*.

У электродвигателей малой мощности пакет стали ротора насаживается непосредственно на вал и, таким образом, внутренний диаметр ротора равен диаметру вала. Если ротор в месте посадки на вал имеет вентиляционные каналы (рис. 3-2), то при расчетах за

внутренний диаметр ротора принимают диаметр окружности, описанный вокруг этих каналов.

6. Площадь сечения тела ротора

$$Q_{a2} = h_{a2} l_2, \ см. \qquad (3\text{-}34)$$

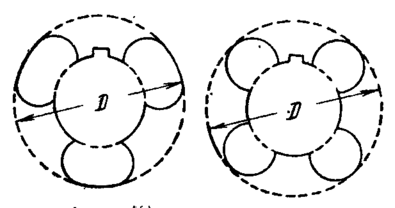


Рис. 3-2. Фигурные вентиляционные каналы.

7. Площадь сечения зубцов одного полюса

$$Q_{з2} = \frac{z_2 b_{z2}}{2p} l_2, \ см^2. \qquad (3\text{-}35)$$

Расчетные формулы:

1. Индукция в зубцах

$$B_{z2} = B_\delta \frac{t_{z2}}{b_2} \frac{l_{t2}}{l_2}, \ тл, \qquad (3\text{-}36)$$

где t_{z2} — зубцовый шаг.

2. Индукция в теле (спинке) ротора

$$B_{a2} = 0{,}55 \, B_\delta \frac{D_{a2}}{h_{a2}} \frac{l_{t2}}{l_2} \cdot \frac{1}{p}, \ тл. \qquad (3\text{-}37)$$

3. Фазовое напряжение

$$U_{ф2} = U_{ф1} \frac{S_{эфф2} z_2 k_{\beta 2} a_1}{S_{эфф1} z_1 k_{\beta 1} a_2}, \ в, \qquad (3\text{-}38)$$

где $S_{эфф2}$ — число эффективных проводов в пазу,

$$S_{эфф2} = \frac{6 w_{эфф2} a_2}{z_2} = \frac{6 w_{об2}}{z_2}, \qquad (3\text{-}39)$$

где $w_{об2}$ — общее число витков в фазе;
a_2 — число параллельных ветвей в фазе;
$w_{эфф2}$ — число эффективных витков в фазе;
$k_{\beta 2}$ — обмоточный коэффициент согласно табл. 3-4.

4. Напряжение между кольцами

$$U_2 = U_{ф2} \text{ — при соединении фаз в треугольник, } в; \qquad (3\text{-}40)$$

$$U_2 = \sqrt{3}\, U_{ф2} \text{ — при соединении фаз в звезду, } в. \qquad (3\text{-}41)$$

Напряжение между кольцами ротора не нормируется, но его величина определяет уровень изоляции узла контактных колец. В электродвигателях мощностью до 15 *квт* напряжение между кольцами находится в пределах 200—250 *в*, в электродвигателях до 50 *квт* — в пределах 350 *в*, а в крупных электродвигателях оно достигает 1 000 *в* и более.

Для снижения напряжения между кольцами фазы обмотки соединяются в треугольник или обмотка выполняется двумя параллельными ветвями. Величина тока, снимаемого с контактных колец, при этом увеличивается. Поэтому, если напряжение между кольцами не превышает указанных величин, предпочтительно выполнить соединение фаз в звезду.

5. Ток ротора (фазный)

$$I_{ф2} = 0{,}9 \frac{I_{ф1} z_1 S_{эфф1} k_{\beta 1} a_2}{z_2 S_{эфф2} k_{\beta 2} a_1}, \ а, \qquad (3\text{-}42)$$

где $I_{ф1}$ — фазовый ток статора, *а*.

6. Плотность тока

$$j_2 = \frac{I_{ф2}}{Q_{эфф2} a_2} = \frac{I_{ф2}}{q_{э2} m_2 a_2}, \ а/мм^2, \qquad (3\text{-}43)$$

где $Q_{эфф2}$ — площадь сечения эффективного провода в пазу, $мм^2$;
$q_{э2}$ — площадь сечения элементарного проводника, $мм^2$;
m_2 — число элементарных проводников в эффективном проводе.

7. Линейная нагрузка

$$A_2 = \frac{I_{ф2} z_2 S_{эфф2}}{\pi D_{a2} a_2}, \ а/см. \qquad (3\text{-}44)$$

8. Коэффициент заполнения свободного сечения паза ротора, так же как и для статора, определяется как отношение суммы площадей прямоугольников, описанных вокруг всех проводов, заложенных в паз, к свободному сечению паза.

3-4. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором могут иметь ряд специфических ненормальностей из-за неправильного соотношения числа пазов статора, ротора и числа полюсов.

Ненормальности заключаются в том, что электродвигатель может прилипать, т. е. не приходить во вращение при подключении к сети, или, начав вращаться, застревать на некторой скорости, обычно составляющей 1/2 от номинальной, или при вращении сильно гудеть.

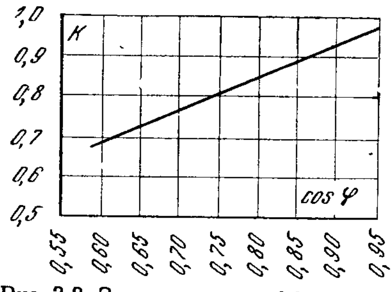


Рис. 3-3. Зависимость коэффициента K от $\cos\varphi$.

Во избежание указанных явлений должны быть выдержаны следующие соотношения между числами пазов и полюсов:

$$\left.\begin{aligned} &z_2 \neq z_1,\\ &z_2 \neq 0{,}5z_1\\ &z_2 \neq 2z_1,\\ &z_2 \neq 6pk,\\ &z_2 \neq 6pk+2p,\\ &z_2 \neq z_1 \pm p,\\ &z_2 \neq z_1+2p,\\ &z_2 \neq 0{,}5z_1 \pm p,\\ &z_2 \neq 2z_1+2p,\\ &z_2 \neq 6pk \pm 1,\\ &z_2 \neq 6pk \pm (2p \pm 1), \end{aligned}\right\} \qquad (3\text{-}45)$$

где k — любое целое число.

Следует отметить, что электромашиностроительными заводами при изготовлении электродвигателей указанные условия не всегда полностью соблюдаются, что в некоторых случаях влечет за собой серьезные затруднения при эксплуатации электродвигателей.

При поверочном расчете короткозамкнутого ротора, так же как и для фазного, следует определить индукции в зубцах и теле ротора и сравнить их с допустимыми по табл. 3-3.

Ток в стержне обмотки (беличьей клетке)

$$I_c = \frac{KI_{ф1} 6w_{эфф1} k_{\beta 1}}{z_2},\ a, \qquad (3\text{-}46)$$

где K — коэффициент, зависящий от $\cos\varphi$ электродвигателя и определяемый по кривой на рис. 3-3.

Ток в короткозамыкающем торцевом кольце

$$I_к = I_c \frac{1}{2\sin\frac{\beta}{2}},\ a, \qquad (3\text{-}47)$$

где β — угол сдвига токов в соседних стержнях;

$$\beta = \frac{2\pi p}{z_2},\ рад. \qquad (3\text{-}48)$$

Плотность тока в стержнях и замыкающем кольце также сравнивают с допустимыми величинами по табл. 3-3.

Кроме вышеуказанных электромагнитных нагрузок подлежит проверке величина механического напряжения от растяжения σ, возникающего в короткозамыкающем кольце при вращении ротора под действием центробежных сил и собственного веса кольца.

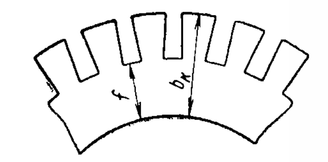


Рис. 3-4. Короткозамыкающее кольцо с пазами для стержней.

Для массивных колец, не ослабленных пазами под стержни,

$$\sigma = 2{,}8 D_к n_0 \gamma 10^{-8},\ кГ/см^2, \qquad (3\text{-}49)$$

где $D_к$ — средний диаметр кольца, *см*;

γ — удельный вес материала кольца, *г/см*³.

Для колец, имеющих пазы под стержни (рис. 3-4),

$$\sigma' = \sigma \frac{b_к}{f},\ кГ/см^2, \qquad (3\text{-}50)$$

где $b_к$ — радиальная толщина кольца, *см*;

f — высота мостика, *см*.

3-5. РАСЧЕТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБМОТОЧНЫХ ДАННЫХ

Для ремонта могут поступать электродвигатели, у которых отсутствуют паспортные щитки, а обмотки либо демонтированы, либо повреждены в такой степени, что не представляется возможным определить и при ремонте сохранить их параметры. Обмотка электродвигателя может быть не заводского исполнения и нет уверенности в ее технической правильности.

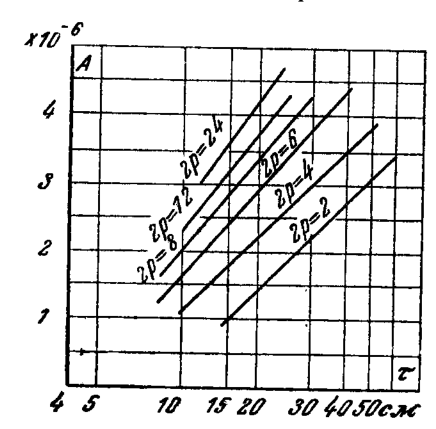


Рис. 3-5. Постоянная мощности A в зависимости от полюсного деления τ.

В этих случаях следует проверить, нет ли в альбомах обмоточных данных такого электродвигателя, геометрические и конструктивные размеры которого совпадают с данными ремонтируемого электродвигателя. При таком совпадении, когда ремонтируемому электродвигателю будет подобран его заводской паспорт, задача расчета сокращается и сводится к поверочному расчету.

Если же по альбомам обмоточных данных не будет установлен паспорт электродвигателя, то требуемое напряжение и скорость вращения оговариваются заказчиком в задании на ремонт, а обмоточные данные устанавливаются расчетным путем на основании снятых с натуры размеров и данных о допустимых электромагнитных нагрузках, приведенных в табл. 3-3.

Для рассматриваемых условий ремонта последовательность расчета следующая:

1. В соответствии с заданием и размерами электродвигателя вычисляют:

число полюсов $2p$ — по формуле (3-1);
полюсное деление τ — по формуле (3-4);
зубцовый шаг статора t_{z1} — по формуле (3-5);
зубцовый шаг ротора t_{z2} — по формуле (3-28);
активную длину пакета стали статора l_1 — по формуле (3-6);
активную длину пакета стали ротора l_2 — по формуле (3-29);
площадь паза статора Q_{z1}, площадь паза ротора Q_{z2} — по рис. 3-1;
расчетную ширину зубца статора b_1 — по формуле (3-7) или (3-8);
расчетную ширину зубца ротора b_2 — по формуле (3-30) или (3-31);
высоту спинки статора h_{a1} — по формуле (3-9);
высоту тела ротора h_{a2} — по формуле (3-33).

2. Определяют ориентировочно полезную мощность электродвигателя по формуле

$$P = AD^2_{i1} l_{t1} n_c, \text{ квт}, \qquad (3\text{-}51)$$

где A — коэффициент использования (постоянная мощности), значение которого в зависимости от полюсного деления τ приведено на рис. 3-5.

Определенная по формуле (3-51) мощность электродвигателя является приближенной. Вычисление ее производится только для возможности пользования при расчетах табл. 3-3, где допустимые электромагнитные нагрузки указаны в зависимости от мощности электродвигателя.

3. Руководствуясь табл. 3-3 и сообразуясь с ориентировочной мощностью электродвигателя, задаются величиной индукции в воздушном зазоре и вычисляют значение индукции в зубцах статора по формуле (3-19), в спинке статора — по формуле (3-20), в зубцах ротора — по формуле (3-36) и в теле ротора — по формуле (3-37).

Расчет начинают, задаваясь максимальным значением B_δ (в табл. 3-3 для каждой мощности указаны предельные — максимальное и минимальное значения индукции). Целесообразность этого следует из формулы (3-14); увеличение B_δ влечет за собой пропорциональное уменьшение числа эффективных проводов в пазу, что в свою очередь позволяет увеличить сечение каждого эффективного провода и тем самым повысить допустимый ток и мощность электродвигателя.

Однако чрезмерная величина индукции в зазоре может привести к недопустимым индукциям в активной стали электродвигателя, увеличению намагничивающего тока, возрастанию потерь и снижению коэффициентов мощности и полезного действия электродвигателя. При очень больших индукциях в спинке статора наблюдается вытеснение потока в окружающие конструктивные детали электродвигателя и сильный нагрев этих деталей. В таких случаях предварительно выбранная максимальная величина индукции в зазоре должна быть снижена в такой степени, чтобы сопряженные с ней индукции на других участках магнитной цепи электродвигателя уложились в допустимые пределы.

Если при составлении вариантов расчетов индукций при различных значениях B_δ не удается добиться требуемых результатов, то это может быть по причине неправильного значения скорости вращения электродвигателя при заказе на ремонт.

Из формулы (3-20), принимая среднее из приведенных в табл. 3-3 значений индукции в воздушном зазоре и спинке статора, можно получить следующую ориентировочную зависимость между числом полюсов, диаметром расточки и высотой статора:

$$2p = 0{,}5 \div 0{,}6 \frac{D_{i1}}{h_{a1}}. \qquad (3\text{-}52)$$

Поэтому при неудовлетворительных результатах подсчета индукции следует произвести повторные расчеты при другом числе полюсов, вычисленных по формуле (3-52).

Из рассмотрения магнитной цепи электродвигателя следует, что площадь сечения магнитопровода в спинке статора и теле ротора не зависит от числа полюсов, а площадь сечения в воздушном зазоре и зубцах статора и ротора изменяется обратно пропорционально числу полюсов.

Если при допустимом значении индукции в зазоре получаются завышенные индукции в спинке статора, следует увеличить число полюсов и тем самым разгрузить спинку. Если же индукция B_{a1} значительно меньше указанной в табл. 3-3, то следует уменьшить число полюсов.

Несколько завышенная, а тем более заниженная индукция в теле ротора при допустимых значениях на

других участках магнитопровода не может служить окончательным признаком, что B_δ выбрана неправильно, так как иногда заводы-изготовители выпускают электродвигатели с несколько искаженной индукцией в теле ротора.

4. Выбирают тип обмотки для статора и ротора.

В асинхронных двигателях малой и средней мощности для статоров применяются однослойная обмотка с концентрическими катушками, двухслойная и однослойная цепная обмотки. В крупных электродвигателях применяются главным образом двухслойные обмотки, реже однослойные с концентрическими катушками.

В гл. 2 описывались условия выполнимости, преимущества и недостатки различных типов статорных обмоток.

Обмотку ротора выбирают к электродвигателям с фазовыми роторами. В большинстве случаев поступающие в ремонт электродвигатели с короткозамкнутым ротором вообще не требуют ремонта ротора, но даже если ротор и нуждается в ремонте, то тип его обмотки совершенно определен.

Наиболее распространены фазовые роторы с трехфазной двухслойной стержневой волновой обмоткой с двумя стержнями в пазу. Эти обмотки обычно выполняются с диаметральным шагом и целым числом пазов на полюс и фазу q или, реже, с нецелым числом q, но с дробной частью, равной $^1/_2$. Сопряжение фаз чаще всего производится в звезду.

Как указывалось в гл. 2, каждый стержень (полусекция) или может состоять из одного массивного провода прямоугольного либо специального профиля, или подразделяться на несколько параллельных проводов при больших токах ротора.

При стержневых обмотках пазы ротора обычно закрытые или имеют небольшой шлиц. При закрытых пазах обмотка выполняется также протяжной, с однослойными концентрическими катушками из круглого провода. Этот вид роторов является устаревшим, и ремонт электродвигателя с такими роторами производится редко. В роторах, имеющих пазы со шлицами, применяются всыпные обмотки, чаще всего с однослойными и, реже, с двухслойными катушками из круглого провода.

Массовое применение для роторов нашли двухслойные обмотки в электродвигателях единой серии типа АК мощностью до 100 *квт*, имеющих открытые пазы.

После выбора типа обмотки статора вычисляется шаг обмотки:

при однослойной обмотке — диаметральный

$$y_1 = \frac{z_1}{2p}$$

и при двухслойной — укороченный

$$y_1 = \beta \frac{z_1}{2p},$$

где β — коэффициент укорочения (обычно от 0,75 до 0,85).

По табл. 3-4 или по формуле (3-18) определяется обмоточный коэффициент для статора $k_{\beta 1}$, аналогично для фазового ротора вычисляется значение $k_{\beta 2}$.

5. Задаваясь числом параллельных ветвей в фазе на основании формулы (3-14), определяют число эффективных проводов в пазу статора:

$$S_{эфф1} = \frac{2,5pU_{ф1}a_1}{B_\delta l_1 z_1 D_{i1} k_{\beta 1}} 10^2$$

и число эффективных витков в фазе статора

$$w_{эфф1} = \frac{w_{об1}}{a_1} = \frac{S_{эфф1} z_1}{6a_1}.$$

Число эффективных проводов в пазу ротора принимают, исходя из допустимой величины напряжения между кольцами по формулам (3-40) и (3-41). Для наиболее употребительных двухслойных стержневых волновых обмоток, как указывалось, $S_{эфф2} = 2$.

6. Определяют свободное сечение паза Q'_{z1} как разность между его площадью в свету и площадью, занимаемой пазовой изоляцией, межслоевой прокладкой и клином. Определяют коэффициент свободного сечения паза:

$$K'' = \frac{Q'_{z1}}{Q_{z1}}.$$

7. Определяют сумму площадей прямоугольников, описанных вокруг всех изолированных проводов, заложенных в паз:

$$Q''_{z1} = K'_1 Q'_{z1} = K'_1 K''_1 Q_{z1},$$

где K'_1 — коэффициент заполнения свободного сечения паза, равный 0,65—0,7 для медных проводов и 0,7—0,75 для алюминиевых проводов.

8. Определяют площадь прямоугольника, описанного вокруг изолированного элементарного проводника:

$$q'_{э.и1} = \frac{Q''_{z1}}{m_1 S_{эфф1}},$$

где m_1 — количество элементарных проводников, на которое подразделен каждый эффективный провод, заложенный в паз.

Необходимость разбивки эффективного провода на элементарные проводники и разбивки каждой фазы на параллельные ветви возникает, если размер провода таков, что он не проходит через шлиц.

В электродвигателях малой и средней мощности стремятся выполнить обмотку с $a_1 = 1$ и $m_1 = 1$, причем в электродвигателях малой мощности это условие обычно выполняется автоматически.

При определении числа параллельных ветвей в каждой фазе обмотки и числа элементарных проводников в эффективном проводе, заложенном в паз, руководствуются следующим.

а) При заданном сечении эффективного провода следует стремиться применить один провод или несколько проводов максимально допустимого сечения. Максимальный диаметр провода (без изоляции) не должен превышать:

для обмоток, выполненных медным проводом, 1,81 *мм*;

для обмоток, выполненных алюминиевым проводом, 2,26 *мм*.

б) Диаметр изолированного провода должен быть на 0,3—0,4 *мм* меньше размера шлица паза. В противном случае может иметь место повреждение изоляции провода при их укладке.

Число параллельных ветвей в фазе не может быть произвольным. Выполнимость обмотки с тем или иным числом параллельных ветвей описывалась в гл. 2.

Для практических целей при выборе числа параллельных ветвей для электродвигателей мощностью до 100 *квт* можно пользоваться табл. 3-9.

Таблица 3-9

Число параллельных ветвей в обмотке статора

Вид обмотки	Число полюсов					
	2	4	6	8	10	12
Двухслойная обмотка	1	1, 2	1, 2, 3	1, 2, 4	1, 2, 5	1, 2, 3, 4, 6
Однослойная обмотка	1	1, 2	1, 3	1, 2, 4	1, 5	1, 2, 3, 6

Для обмотки фазового ротора аналогичным образом определяются:

$$m_2,\ a_2 \text{ и } q_{э2}.$$

Диаметр изолированного элементарного проводника составляет:

$$d_{из1} = \sqrt{q'_{э.и1}};$$

полученное значение округляется до ближайшего меньшего стандартного диаметра провода.

Размер неизолированного провода

$$d_1 = d_{из1} - \Delta,$$

где Δ — двусторонняя толщина изоляции провода.

Ввиду большой номенклатуры применяемых обмоточных проводов часто бывает, что провод требуемых размеров отсутствует. В этих случаях прибегают к его замене двумя проводами, эквивалентными по суммарному сечению. При этой замене следует учитывать, что коэффициент заполнения свободного сечения паза увеличивается.

9. Вычисляют фазный ток статора по формуле (3-21):

$$I_{ф1} = j_1 a_1 m_1 q_{э1}.$$

Величина плотности тока выбирается по табл. 3-3.

10. Вычисляют фазный ток ротора по формуле (3-42):

$$I_{ф2} = 0{,}9 I_{ф1} \frac{S_{эфф1} k_{\beta 1} a_2}{S_{эфф2} k_{\beta 2} a_1}$$

и определяют плотность тока по формуле (3-43)

$$j_2 = \frac{I_{ф2}}{q_{э2} a_2 m_2}.$$

Если значение j_2 превышает допустимое по табл. 3-3, следует снизить $I_{ф1}$ до такой степени, чтобы значение j_2 уложилось в допустимые пределы, или, если это возможно, для выбранного типа обмотки увеличить $S_{эфф2}$ (без уменьшения сечения провода).

Для короткозамкнутых роторов вычисляются токи в стержне по формуле (3-46) и в короткозамыкающем торцевом кольце — по формуле (3-47).

В случае, если обмотка короткозамкнутого ротора демонтирована, размеры и форма стержней восстанавливаются по форме паза, а сечение короткозыкающего кольца определяется из соотношения

$$Q_{к.к} = \frac{I_{к.к}}{j_{к.к}},$$

где $I_{к.к}$ и $j_{к.к}$ — ток и плотность тока в короткозамыкающем кольце.

Размеры короткозамыкающего кольца выбираются с учетом, чтобы возникающие в них механические напряжения при вращении, определяемые формулами (3-49) и (3-50), не превосходили допустимых величин.

11. Определяют величину A_1 по формуле (3-24) и A_2 — по формуле (3-44) и вычисляют произведения $j_1 A_1$ и $j_2 A_2$. Если эти произведения превзойдут допустимые пределы, следует снизить $I_{ф1}$ до такой степени, чтобы значения указанных произведений уложились в допустимые пределы.

12. Определяют кажущуюся мощность, потребляемую электродвигателем, по формуле (3-22) или (3-23):

$$P' = \frac{U I_{ф1} \sqrt{3}}{1\,000} \text{ — при соединении фаз в звезду}$$

или

$$P' = \frac{U I_{ф1} 3}{1\,000} \text{ — при соединении фаз в треугольник.}$$

Номинальная мощность электродвигателя (мощность на валу)

$$P = P' \cos\varphi\eta.$$

Значения η и $\cos\varphi$ подбираются по одной из табл. 3-5 — 3-8.

Одним из важных эксплуатационных показателей является величина тока холостого хода $I_{х.х}$. Для трехфазных электродвигателей ток холостого хода мало отличается от тока намагничивания (на 2—4%).

Определение тока холостого хода производится по формуле

$$I_{х.х} = 0{,}35 \frac{pF}{w_{эфф1} k_{\beta 1}},$$

где F — полная м. д. с. магнитной цепи электродвигателя на пару полюсов, слагающаяся из м. д. с:
воздушного зазора — F_δ,
спинки статора — F_{a1},
зубцов статора — F_{z1},
тела ротора — F_{a2},
зубцов ротора — F_{z2},

$$F = F_\delta + F_{a1} + F_{z1} + F_{a2} + F_{z2}.$$

С допустимым приближением можно принять, что м. д. с. ротора составляет 90% от м. д. с. статора, т. е.

$$F_{a2} + F_{z2} = 0{,}9\,(F_{a1} + F_{z1}),$$

тогда

$$F = F_\delta + 1{,}9\,(F_{a1} + F_{z1}).$$

Определение F_δ производится по формуле

$$F_\delta = 1{,}6 B_\delta k_\delta \delta \cdot 10^4,$$

где k_δ — коэффициент воздушного зазора

$$k_\delta = \left(\frac{t_{z1} + 10\delta}{b'_1 + 10\delta}\right)\left(\frac{t_{z2} + 10\delta}{b'_2 + 10\delta}\right)^*.$$

Определение F_{a1} производится по формуле

$$F_{a1} = L_{a1} H_{a1},$$

где L_{a1} — средняя длина силовой линии в спинке статора, равная:

$$L_{a1} = \frac{\pi\,(D_{i1} + 2h_{z1} + h_{a1})}{2p};$$

* Если статор или ротор электродвигателя не имеет шлицев, то соответствующий сомножитель принимается равным единице.

H_{a1} — напряженность магнитного поля в спинке статора, определяемая по кривым или таблицам намагничивания в зависимости от сорта стали и величины индукции в спинке статора.

Определение F_{z1} производится по формуле

$$F_{z1} = 2H_{z1} h_{z1},$$

где H_{z1} — напряженность магнитного поля в зубцах статора, определяемая по соответствующим таблицам или кривым намагничивания в соответствии со значением расчетной индукции в зубцах.

Пример расчета при демонтированной обмотке и отсутствии паспорта.

Технические требования:

Электродвигатель предназначается для работы от сети напряжением 500 *в* с синхронной скоростью вращения 1 000 *об/мин*. Исполнение электродвигателя — защищенное.

Данные замеров:

а) Статор

наружный диаметр пакета стали D_{a1}	46,0 *см*
внутренний диаметр пакета стали D_{i1}	31,0 *см*
полная длина пакета стали l_{t1}	22,5 *см*
число вентиляционных каналов $n_{к1}$	3
ширина вентиляционного канала $b_{к1}$	1 *см*
коэффициент заполнения пакета стали (лаковая межлистовая изоляция, толщина листов 0,5*мм*) k_1	0,93
число пазов z_1	72
ширина зубца в широком месте b'_1	0,85 *см*
ширина зубца в узком месте b''_1	0,58 *см*
высота паза h_{z1}	3,2 *см*
площадь паза Q_{z1}	375 *мм*²

б) Ротор

наружный диаметр пакета стали D_{a2}	30,0 *см*
внутренний диаметр пакета стали D_{i2}	8,5 *см*
Полная длина пакета стали l_{t2}	22,5 *см*
Коэффициент заполнения пакета стали $k_2 = k_1$	0,93
Число пазов z_2	90
Ширина зубца в широком месте b'_2	0,54 *см*
Ширина зубца в узком месте b''_2	0,36 *см*
Высота паза h_{z2}	6,55 *см*
Ширина паза a_2	1,2 *см*

Ротор фазовый, без вентиляционных каналов

Расчет

1. Число полюсов

$$2p = \frac{6\,000}{n_0} = \frac{6\,000}{1\,000} = 6.$$

2. Полюсное деление

$$\tau = \frac{\pi D_{i1}}{2p} = \frac{3,14 \cdot 31,0}{6} = 16,2 \ см.$$

3. Зубцовый шаг статора

$$t_{z1} = \frac{\pi D_{i1}}{z_1} = \frac{3,14 \cdot 31,0}{72} = 1,35 \ см.$$

4. Зубцовый шаг ротора

$$t_{z2} = \frac{\pi D_{a2}}{z_2} = \frac{3,14 \cdot 30,0}{90} = 1,05 \ см.$$

5. Активная длина пакета стали статора

$$l_1 = k_1 (l_{t1} - n_{к1} b_{к1}) = 0,93 (22,5 - 3 \cdot 1) = 18,1 \ см.$$

6. Активная длина пакета стали ротора

$$l_2 = k_2 l_{t2} = 0,93 \cdot 22,5 = 21,0 \ см.$$

7. Расчетная ширина зубца статора

$$b_1 = \frac{2}{3} b'_1 + \frac{1}{3} b''_1 = \frac{2}{3} 0,85 + \frac{1}{3} 0,58 = 0,76 \ см.$$

8. Расчетная ширина зубца ротора

$$b_2 = \frac{2}{3} b'_2 + \frac{1}{3} b''_2 = \frac{2}{3} 0,54 + \frac{1}{3} 0,36 = 0,48 \ см.$$

9. Высота спинки статора

$$h_{a1} = \frac{D_{a1} - D_{i1}}{2} - h_{z1} = \frac{46,0 - 31,0}{2} - 3,2 = 4,3 \ см.$$

10. Высота тела ротора

$$h_{a2} = \frac{D_{a2} - D_{i2}}{2} - h_{z2} = \frac{30,0 - 8,5}{2} - 6,55 = 4,2 \ см.$$

11. Ориентировочная мощность электродвигателя

$$P = A D_{i1}^2 l_{t1} n_c;$$

по рис. 3-5 при $\tau = 16,2$ *см* и $2p = 6$ значение A составляет $2,5 \cdot 10^{-6}$;

$$P = 2,5 \cdot 31,0^2 \cdot 22,5 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} = 54 \ квт.$$

12. Величина индукции в воздушном зазоре B_δ согласно табл. 3-3 принимается 0,8 *тл.*

13. Индукция в зубцах статора

$$B_{з1} = B_\delta \frac{t_{z1}}{b_1} \frac{l_{t1}}{l_1} = 0,8 \frac{1,35}{0,76} \frac{22,5}{18,1} = 1,77 \ тл.$$

14. Индукция в спинке статора

$$B_{a1} = 0,55 \, B_\delta \frac{D_{i1}}{h_{a1}} \frac{l_{t1}}{l_1} \frac{1}{p} = 0,55 \cdot 0,8 \cdot \frac{31,0}{4,3} \frac{22,5}{18,1} \frac{1}{3} = 1,31 \ тл.$$

15. Индукция в зубцах ротора

$$B_{з2} = B_\delta \frac{t_{z2}}{b_2} \frac{l_{t2}}{l_2} = 0,8 \frac{1,05}{0,48} \frac{22,5}{21,0} = 1,85 \ тл.$$

16. Индукция в теле ротора

$$B_{a2} = 0,55 \, B_\delta \frac{D_{a2}}{h_{a2}} \frac{l_{t2}}{l_2} \frac{1}{p} = 0,55 \cdot 0,8 \cdot \frac{30,0}{4,2} \frac{22,5}{21,0} \frac{1}{3} = 1,1 \ тл.$$

Индукция в зубцах статора и ротора, в спинке статора и теле ротора находится в допустимых пределах, указанных в табл. 3-3. Поэтому нет надобности корректировать выбранную величину B_δ.

17. Обмотка статора выбирается двухслойной с сокращением шага, равным 0,85.

18. Число пазов на полюс и фазу обмотки статора

$$q_1 = \frac{z_1}{3 \cdot 2p} = \frac{72}{3 \cdot 6} = 4.$$

19. Шаг обмотки статора

$$y_1 = \frac{\beta z_1}{2p} = \frac{0,85 \cdot 72}{6} = 10,2$$

округляется до 10.

20. Обмоточный коэффициент обмотки статора по табл. 3-4

$$k_{\beta 1} = 0,931.$$

21. Обмотка ротора выбирается двухслойной с двумя стержнями в пазу с диаметральным шагом

$$S_{эфф2} = 2;$$

$$w_{эфф2} = \frac{S_{эфф2} z_2}{2p} = \frac{2 \cdot 90}{6} = 30;$$

$$a_2 = 1.$$

22. Число пазов на полюс и фазу обмотки ротора

$$q_2 = \frac{z_2}{3 \cdot 2p} = \frac{90}{3 \cdot 6} = 5.$$

23. Шаг обмотки ротора

$$y_2 = \frac{z_2}{2p} = \frac{90}{6} = 15.$$

24. Обмоточный коэффициент обмотки ротора по табл. 3-4

$$k_{\beta 2} = 0,957.$$

25. Число эффективных проводов в пазу статора, принимая в первом приближении $a_1 = 2$,

$$S_{эфф1} = \frac{2,5 p U_{ф1} a_1}{B_\delta l_{t1} z_1 D_{i1} k_{\beta 1}} \cdot 10^2 = \frac{2,5 \cdot 3 \frac{500}{\sqrt{3}} \cdot 2}{0,8 \cdot 22,5 \cdot 72 \cdot 31,0 \cdot 0,931} \cdot 10^2 = 11,6$$

округляется до 12.

26. Число эффективных проводов в фазе обмотки статора

$$w_{эфф1} = \frac{S_{эфф1} z_1}{6a_1} = \frac{12 \cdot 72}{6 \cdot 2} = 72.$$

27. Коэффициент свободного сечения паза K''_1 принимается равным 0,75. Коэффициент заполнения свободного сечения паза K'_1 принимается равным 0,67 (для K''_1 и K'_1 взяты средние значения). Тогда сумма площадей прямоугольников, описанных вокруг всех изолированных проводов, заложенных в паз, составит:

$$Q''_{z1} = K'_1 K''_1 Q_{з1} = 0,75 \cdot 0,67 \cdot 375 = 187 \text{ мм}^2.$$

28. Принимая в первом приближении $m_1=3$, определяем площадь прямоугольника, описанного вокруг изолированного элементарного проводника, и его диаметр:

$$q_{э.и1} = \frac{Q''_{z1}}{m_1 S_{эфф1}} = \frac{187}{3 \cdot 12} = 5,2 \text{ мм}^2,$$

$$d_{из1} = \sqrt{q'_{э.и1}} = \sqrt{5,2} = 2,3 \text{ мм}.$$

При марке провода ПЭЛБО диаметр элементарного проводника без изоляции составит:

$$d_1 = d_{из1} - \Delta = 2,30 - 0,21 = 2,09 \text{ мм}.$$

Как указывалось выше, во избежание повреждения проводниковой изоляции диаметр провода не должен превышать 1,81 *мм*. Поэтому целесообразно изменить предварительно принятое значение a_1 или m_1.

29. Принимая $a_1=2$ и $m_1=4$, окончательно получаем:

$$q'_{э.и1} = \frac{187}{4 \cdot 12} = 3,9 \text{ мм}^2;$$

$$d_{из1} = \sqrt{3,9} = 1,97 \text{ мм};$$

$$d_1 = 1,97 - 0,21 = 1,76 \text{ мм};$$

$$q_{э1} = 2,4 \text{ мм}^2.$$

30. Размеры стержня ротора в соответствии с размерами паза выбираются по ширине 2,8 *мм* и по высоте 18,5 *мм*:

$$Q_{эфф2} = 2,8 \cdot 18,5 = 53 \text{ мм}^2.$$

31. Плотность тока в обмотке статора согласно табл. 3-3 принимается

$$j_1 = 4,5 \text{ а/мм}^2.$$

32. Номинальный фазовый ток статора

$$I_{ф1} = j_1 a_1 m_1 q_{э1} = 4,5 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 2,4 = 86 \text{ а}.$$

33. Номинальный фазный ток ротора

$$I_{ф2} = 0,9 I_{ф1} \frac{S_{эфф1} k_{\beta 1} a_2}{S_{эфф2} k_{\beta 2} a_1} = 0,9 \cdot 86,0 \frac{12 \cdot 0,931 \cdot 1}{2 \cdot 0,957 \cdot 2} = 225 \text{ а}.$$

34. Плотность тока в обмотке ротора

$$j_2 = \frac{I_{ф2}}{Q_{эфф2}} = \frac{225}{53} = 4,25 \text{ а/мм}^2.$$

35. Линейная нагрузка обмотки статора

$$A_1 = \frac{I_{ф1} z_1 S_{эфф1}}{\pi D_{i1} a_1} = \frac{86,0 \cdot 72 \cdot 12}{3,14 \cdot 31 \cdot 2} = 380 \text{ а/см}.$$

36. Произведение $j_1 A_1$ составляет для обмотки статора

$$4,5 \cdot 380 = 1710.$$

37. Линейная нагрузка обмотки ротора

$$A_2 = \frac{I_{ф2} z_2 S_{эфф2}}{\pi D_{a2} a_2} = \frac{225 \cdot 90 \cdot 2}{3,14 \cdot 30 \cdot 1} = 430 \text{ а/см}.$$

38. Произведение $j_2 A_2$ составляет для обмотки ротора

$$4,25 \cdot 430 = 1\,830.$$

Величины по пп. 34—38 находятся в допустимых пределах.

39. Фазное напряжение обмотки ротора

$$U_{ф2} = U_{ф1} \frac{S_{эфф2} z_2 k_{\beta 2} a_1}{S_{эфф1} z_1 k_{\beta 1} a_2} = \frac{500}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2 \cdot 90 \cdot 0,957 \cdot 2}{12 \cdot 72 \cdot 0,931 \cdot 1} = 125 \text{ в}.$$

40. Напряжение на кольцах ротора:

при соединении фаз в звезду $U_2 = \sqrt{3}\, U_{ф2} = \sqrt{3}\, 125 = 216$ *в*;

при соединении фаз в треугольник $U_2 = U_{ф2} = 125$ *в*.

Принимается соединение фаз в звезду, так как при этом напряжение между кольцами не превосходит допустимой величины.

41. Кажущаяся мощность электродвигателя

$$P' = \frac{3 I_{ф1} U_{ф1}}{1\,000} = \frac{3 \cdot 86,0 \frac{500}{\sqrt{3}}}{1\,000} = 75 \text{ ква}.$$

42. Номинальная мощность электродвигателя при $\cos\varphi = 0,83$ и $\eta = 0,885$ согласно табл. 3-7

$$P = P' \cos\varphi\eta = 75,0 \cdot 0,83 \cdot 0,885 = 55 \text{ квт},$$

что совпадает с предварительным подсчетом по п. 11.

3-6. РАСЧЕТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПОЛНЕНИЯ ПАЗА

При ремонте электродвигателей старых выпусков представляется возможным увеличить коэффициент заполнения паза путем применения обмоточных проводов с более тонкой изоляцией, а также выполнения

изоляции паза из современных, более тонких материалов. Естественно, что при увеличении сечения проводов, заложенных в паз, могут быть повышены ток и мощность электродвигателя.

При увеличении мощности электродвигателя приходится считаться со следующими обстоятельствами.

1. Нагрев обмотки характеризуется величиной произведения $j_1 A_1$. В соответствии с формулами (3-21) и (3-24) это произведение имеет вид

$$j_1 A_1 = C Q_{z1} j_1^2 K_1,$$

где C — постоянная величина, определяемая заданной конструкцией электродвигателя.

Таким образом, при увеличении сечения провода ток и мощность не могут быть увеличены в том же соотношении, если коэффициент заполнения паза при этом также увеличился.

2. Отношение максимального вращающего момента к номинальному является нормируемой величиной, оговоренной действующим ГОСТ на электрические машины.

Так как момент вращения электродвигателя связан с его мощностью соотношением $M_{ном} = 975P/n$, то при увеличении мощности электродвигателя пропорционально увеличивается его номинальный момент. Поэтому для сохранения соотношения максимального и номинального моментов необходимо повысить $M_{макс}$.

Следует оговориться, что некоторые электродвигатели имеют запас в части кратности $M_{макс}/M_{ном}$. Если же этого запаса нет, то его следует обеспечить путем изменения обмоточных данных электродвигателя.

Увеличение $M_{макс}$ возможно при повышении индукции в воздушном зазоре, причем увеличение $M_{макс}$ пропорционально квадрату индукции в воздушном зазоре.

Как следует из формулы (3-14), повышение индукции в воздушном зазоре можно произвести только за счет уменьшения числа эффективных проводов в пазу. Это увеличение индукции влечет за собой увеличение потерь в стали. С другой стороны уменьшение числа проводов в пазу позволяет дополнительно увеличить их сечение (помимо увеличения сечения за счет повышения коэффициента заполнения паза) и тем самым снизить потери в обмотке.

Работой Н. М. Слонима [Л. 20] установлено, что сохранение кратности максимального и номинального моментов, а также сохранение суммарных потерь при увеличении коэффициента заполнения паза может быть при следующем соотношении новой и старой мощности и номинального тока электродвигателя:

$$\gamma = \frac{P_н}{P_с} = \frac{I_{ф1н}}{I_{ф1с}} = 0,7b + 0,3,$$

где b — отношение коэффициентов заполнения паза, т. е.

$$b = \frac{K_{1н}}{K_{1с}} \text{ или } \gamma - 1 = 0,7(b - 1),$$

т. е. каждому проценту увеличения коэффициента заполнения паза соответствует 0,7% увеличения мощности электродвигателя.

Здесь и далее к обозначениям, относящимся к старому исполнению, добавляется индекс «с» и к новому исполнению — индекс «н».

При указанном увеличении мощности следует:

число эффективных проводов в пазу уменьшить в соотношении:

$$\frac{S_{эфф1н}}{S_{эфф1с}} = \frac{1}{\sqrt{0,7b + 0,3}},$$

а сечение эффективного провода увеличить;

$$\frac{Q_{эфф1н}}{Q_{эфф1с}} = b\sqrt{0,7b + 0,3}.$$

При этих изменениях плотность тока в обмотке уменьшится

$$\frac{j_{1н}}{j_{1с}} = \frac{\sqrt{0,7b + 0,3}}{b}.$$

а линейная нагрузка и индукция в зазоре увеличатся

$$\frac{A_{1н}}{A_{1с}} = \frac{B_{\delta н}}{B_{\delta с}} = \sqrt{0,7b + 0,3},$$

Также уменьшится произведение плотности тока на линейную нагрузку

$$\frac{j_{1н} A_{1н}}{j_{1с} A_{1с}} = \frac{0,7b + 0,3}{b}.$$

Практически увеличение коэффициента заполнения паза может изменяться от 1,1 до 1,5. Для этих значений указанные выше соотношения сведены в табл. 3-10.

Ввиду сохранения потерь на прежнем уровне при одновременном увеличении номинальной мощности элек-

Таблица 3-10

Соотношения при увеличении коэффициента заполнения паза

Соотношение	Расчетная формула	Величина соотношения при b, равном 1,1	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,5
$\frac{P_н}{P_с}$; $\frac{I_{ф1н}}{I_{ф1с}}$	$0,7b+0,3$	1,07	1,105	1,14	1,175	1,21	1,245	1,28	1,315	1,35
$\frac{S_{эфф1н}}{S_{эфф1с}}$	$\frac{1}{\sqrt{0,7b+0,3}}$	0,97	0,955	0,94	0,925	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86
$\frac{Q_{эфф1н}}{Q_{эфф1с}}$	$b\sqrt{0,7b+0,3}$	1,14	1,21	1,28	1,36	1,43	1,50	1,58	1,66	1,74
$\frac{j_{1н}}{j_{1с}}$	$\frac{\sqrt{0,7b+0,3}}{b}$	0,94	0,915	0,890	0,875	0,850	0,825	0,805	0,790	0,775
$\frac{A_{1н}}{A_{1с}}$; $\frac{B_{δн}}{B_{δс}}$	$\sqrt{0,7b+0,3}$	1,035	1,05	1,07	1,085	1,10	1,115	1,13	1,145	1,16
$\frac{j_{1н}A_{1н}}{j_{1с}A_{1с}}$	$\frac{0,7b+0,3}{b}$	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,922	0,915	0,905	0,909

тродвигателя его к. п. д. возрастет. Коэффициент мощности несколько уменьшится.

Если при перерасчете электродвигателя индукция в зазоре превзойдет предельную величину, указанную в табл. 3-3, то ее следует снизить до максимально допустимой и, исходя из этой сниженной индукции, рассчитать все соотношения, приведенные в табл. 3-10.

В качестве конкретного примера модернизации электродвигателя при изменении коэффициента заполнения паза можно привести результаты перемотки электродвигателя единой серии типа АО63-4 мощностью 14 *квт*, напряжением 220/380 *в*, при которой мощность электродвигателя была увеличена до 17 *квт*.

Параметры электродвигателя в заводском исполнении следующие:

Число элементарных проводников в пазу	64
Число параллельных ветвей в фазе a_1	2
Число элементарных проводников в эффективном проводе m_1	2
Диаметр проводника без изоляции d_1	1,36 *мм*
Марка изоляции провода	ПЭЛБО
Двусторонняя толщина изоляции Δ	0,21 *мм*
Диаметр изолированного провода $d_{из1}$	1,51 *мм*
Толщина пазовой изоляции	0,6 *мм*
Площадь паза Q_{z1}	296 *мм*^{2}
Коэффициент заполнения паза	0,29

При ремонте оставлены без изменения схема обмотки, число элементарных проводников в эффективном проводе и число параллельных ветвей в фазе. Были изменены:

а) количество элементарных проводников в пазу; вместо 64 проводников было уложено 60. Это уменьшение вполне целесообразно, так как величина индукции в стали в заводском исполнении не была предельной и ее увеличение на 7% вполне допустимо;

б) толщина пазовой изоляции; вместо изоляции толщиной 0,6 *мм* на сторону установлена изоляция толщиной 0,3 *мм* за счет применения современных более тонких изоляционных материалов с повышенной электрической прочностью;

в) марка и размер провода; взамен провода марки ПЭЛБО, имеющего двустороннюю толщину изоляции 0,21 *мм*, был применен провод марки ПЭВ-2 с двусторонней толщиной изоляции 0,11 *мм*. Диаметр неизолированного провода был увеличен до 1,45 *мм*, и соответственно этому диаметр изолированного провода составил 1,56 *мм*.

Учитывая уменьшение количества проводников, закладываемых в паз, и утоньшение пазовой изоляции, незначительное увеличение диаметра изолированного провода вполне допустимо.

В результате модернизации коэффициент заполнения паза повысился до 0,38 и его отношение к коэффициенту заполнения паза в заводском исполнении составило:

$$b = \frac{0,38}{0,29} = 1,31.$$

При указанном соотношении этих коэффициентов по данным табл. 3-10 увеличение номинальной мощности составляет 22%, т. е. мощность электродвигателя после модернизации будет равна 17 *квт*.

3-7. РАСЧЕТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ

При переводе электродвигателя на новое напряжение при той же скорости вращения условием сохранения его мощности является неизменность индукций на всех участках магнитной цепи и объема тока в пазу.

Из формулы (3-14) при неизменной индукции в зазоре следует:

$$\frac{U_{ф1с}a_{1с}}{S_{эфф1с}k_{\beta 1с}} = \frac{U_{ф1н}a_{1н}}{S_{эфф1н}k_{\beta 1н}}.$$

При сохранении типа и шага обмотки

$$S_{эфф1н} = S_{эфф1с}\frac{U_{ф1н}}{U_{ф1с}}.$$

Из формул (3-22) и (3-23) следует, что при сохранении плотности тока

$$\frac{I_{ф1н}}{I_{ф1с}} = \frac{U_{ф1с}}{U_{ф1н}} = \frac{Q_{эфф1н}}{Q_{эфф1с}},$$

или

$$Q_{эфф1н} = Q_{эфф1с}\frac{U_{ф1с}}{U_{ф1н}}.$$

Таким образом, при сохранении скорости вращения, плотности тока и мощности **число эффективных проводов в пазу изменяется прямо пропорционально, а их сечение — обратно пропорционально новому и старому напряжению.**

При увеличении числа проводов в пазу увеличивается объем, занимаемый изоляцией проводов. Поэтому по возможности приходится применять более толстые элементарные проводники, входящие в эффективный провод, или обмоточные провода с более тонкой изоляцией. Иногда приходится прибегать к уменьшению числа параллельных ветвей в фазе и тем самым увеличивать сечение провода в каждой из параллельных ветвей.

Однако упомянутые мероприятия по увеличению коэффициента заполнения паза не всегда можно осуществить, или эффект их может оказаться недостаточным. Кроме того, переход на более высокое напряжение может быть связан с утолщением пазовой изоляции. Поэтому не всегда удается сохранить общее сечение меди в пазу, что приводит к необходимости снижения мощности электродвигателя.

При переводе крупных электродвигателей с номинального напряжения 3 *кв* на 6 *кв* практически потери мощности достигают 15—20%.

Перевод электродвигателей на пониженное напряжение во многих случаях позволяет увеличить их мощность благодаря облегчению пазовой изоляции и уменьшению числа эффективных проводов в пазу.

Пример пересчета электродвигателя напряжением 127/220 *в* на напряжение 380/220 *в*.

Параметры обмотки электродвигателя:

Тип обмотки	Двухслойная
Число эффективных проводов в пазу $S_{эфф1}$	20
Число параллельных ветвей a_1	2
Число элементарных проводников в эффективном проводе m_1	1
Общее число проводников в пазу	40
Диаметр элементарного проводника (неизолированного) d_1	1,3 *мм*
Сечение элементарного проводника $q_{э1}$	1,327 *мм*²
Марка провода	ПЭЛБО
Двусторонняя толщина изоляции Δ_1	0,21 *мм*
Диаметр изолированного элементарного проводника $d_{из1}$	1,51 *мм*

Расчет.

1. При сохранении схемы обмотки и числа элементарных проводников в эффективном проводе число эффективных проводов в пазу составит:

$$S_{эфф1н} = S_{эфф1с}\frac{U_{ф1н}}{U_{ф1с}} = 20\cdot\frac{380}{220} = 34,6$$

округляется до ближайшего четного числа 34.

2. Сечение элементарного проводника (без изоляции).

$$q_{э1н} = q_{э1с}\frac{U_{ф1с}}{U_{ф1н}} = 1,327\frac{220}{380} = 0,77 \text{ мм}^2.$$

3. Диаметр элементарного проводника без изоляции

$$d_{э1н} = 1,14\sqrt{0,77} = 1,01 \text{ мм}$$

округляется до ближайшего стандартного диаметра 1,0 *мм*.

4. Диаметр изолированного проводника при сохранении марки провода

$$d_{из1н} = d_{э1н} + \Delta_{1н} = 1,0 + 0,21 = 1,21 \text{ мм}.$$

Указанное уменьшение диаметра провода вызывает снижение коэффициента заполнения провода

$$K'''_{1c} = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d_{1c}}{d_{из1c}}\right)^2 = \frac{\pi}{4}\left(\frac{1,3}{1,51}\right)^2 = 0,58;$$

$$K'''_{1н} = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d_{1н}}{d_{из1н}}\right)^2 = \frac{\pi}{4}\left(\frac{1,0}{1,21}\right)^2 = 0,54.$$

Это уменьшение коэффициента заполнения провода при одновременном увеличении количества проводов, укладываемых в паз, может привести к повреждению проводниковой изоляции при укладке обмотки. Поэтому необходимо либо применить провод другой марки с более тонкой изоляцией, либо применить для изоляции паза и прокладок более тонкие материалы с повышенной электрической прочностью.

Если эти мероприятия невозможно осуществить, то рационально изменить обмоточные данные — выполнить обмотку с одной ветвью в фазе вместо двух, без разбивки эффективного провода на элементарные проводники.

5. Сечение провода при этом составит:

$$q_{1н} = 1,54 \ мм^2.$$

6. Диаметр провода без изоляции

$$d_{э1н} = 1,14\sqrt{1,54} = 1,41 \ мм;$$

округляется до ближайшего стандартного диаметра 1,4 *мм*.

7. Диаметр изолированного провода

$$d_{из1н} = 1,4 + 0,21 = 1,61 \ мм.$$

8. Коэффициент заполнения провода

$$K'''_{1н} = \frac{\pi}{4}\left(\frac{1,4}{1,61}\right)^2 = 0,595.$$

Таким образом, при переводе обмотки на одну ветвь в фазе коэффициент заполнения паза практически сохраняется, и естественно нет оснований к снижению полезной мощности электродвигателя.

3-8. РАСЧЕТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

При переводе на другую скорость вращения электродвигателей с короткозамкнутым ротором следует сверить по формулам (3-45) возможность такого перевода с точки зрения допустимого соотношения нового, измененного числа полюсов и числа пазов статора и ротора.

При уменьшении числа полюсов и при сохранении индукции в воздушном зазоре увеличивается индукция в спинке статора и в теле ротора. При увеличении числа полюсов имеет место обратная зависимость. Индукции же в зубцах статора и ротора остаются неизменными.

Пересчет электродвигателя в связи с изменением числа полюсов следует начинать с определения индукции на всех участках магнитной цепи. В некоторых случаях может оказаться, что спинка статора и тело ротора недостаточно загружены магнитным потоком и индукция в них может быть повышена. Это может иметь место у электродвигателей старых выпусков, где активные материалы не всегда были предельно загружены.

В тех случаях, когда можно при измененном числе полюсов сохранить индукцию в зазоре и зубцах или когда возросшая индукция в спинке и зубцах не окажется чрезмерной (превышение не более чем на 10—15% значений, приведенных в табл. 3-3), следует при пересчете руководствоваться следующим.

Из формулы (3-14) вытекает, что при сохранении индукции в зазоре и номинального фазного напряжения

$$\frac{p_c a_{1c}}{S_{эфф1c} k_{\beta 1c}} = \frac{p_н a_{1н}}{S_{эфф1н} k_{\beta 1н}},$$

т. е. новое число эффективных проводов в пазу составит:

$$S_{эфф1н} = S_{эфф1c} \frac{k_{\beta 1c} a_{1н}}{k_{\beta 1н} a_{1c}} \frac{p_н}{p_c} = S_{эфф1c} \frac{k_{\beta 1c}}{k_{\beta 1н}} \frac{n_{c.c}}{n_{c.н}} \frac{a_{1н}}{a_{1c}}.$$

При сохранении типа, шага обмотки и объема тока в пазу сечение эффективного провода составит:

$$Q_{эфф1н} = Q_{эфф1c} \frac{p_c}{p_н} = Q_{эфф1c} \frac{n_{c.н}}{n_{c.c}}.$$

Номинальная мощность электродвигателя

$$P_н = P_c \frac{p_c}{p_н} = P_c \frac{n_{c.н}}{n_{c.c}}.$$

Когда при увеличении скорости вращения приходится уменьшать индукцию в зазоре, чтобы ввести в норму индукции в спинке статора и теле ротора, пропорционально увеличивается число эффективных проводов в пазу и уменьшаются сечение эффективного провода и номинальная мощность электродвигателя.

Увеличение числа эффективных проводов в пазу влечет за собой ухудшение коэффициента заполнения паза. Поэтому при перемотке электродвигателя следует при-

менять провода с более тонкой изоляцией и максимально допустимого диаметра (из условия возможности укладки его через шлиц паза).

Для увеличения диаметра провода следует пересмотреть и по возможности уменьшить число элементарных проводников в эффективном проводе и число параллельных ветвей в фазе.

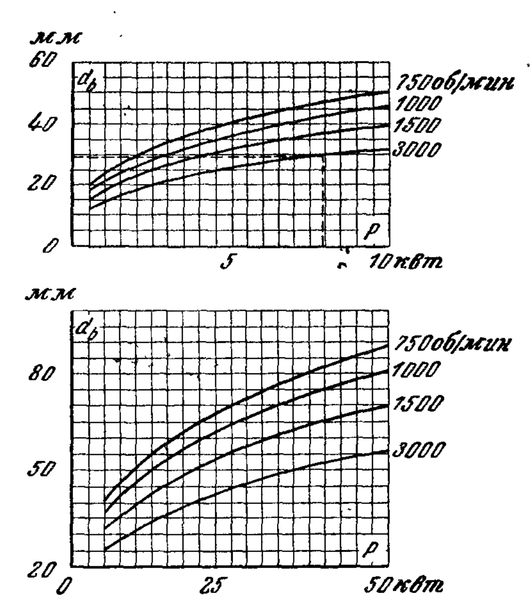


Рис. 3-6. Допустимая нагрузка на вал.

Указанное выше изменение мощности электродвигателя при изменении скорости вращения может рассматриваться как приближенное, так как при увеличении скорости вращения, с одной стороны, увеличиваются потери на трение, а с другой стороны, повышается производительность вентилятора.

Увеличение мощности электродвигателя при повышении скорости вращения может ограничиваться механической прочностью его частей и их нагревом.

Окружная скорость ротора определяется по формуле

$$v_p = \frac{\pi D_{a2} n}{60 \cdot 100}, \text{ м/сек},$$

Эта скорость не должна превышать для фазового ротора 30—40 *м/сек*, а для короткозамкнутого ротора— 40—60 *м/сек*.

Бандаж фазового ротора при увеличении скорости вращения обычно нуждается в усилении.

Следует также по рис. 3-6 проверить прочность свободного конца вала (т. е. конца вала, служащего для насадки шкива, муфты или шестерни).

Нагрев подшипников также увеличивается при повышении скорости вращения и увеличении мощности электродвигателя. Потери от нагрева подшипников составляют:

$$\Delta P_п = 5{,}5 l_z v_z^2 \sqrt{\frac{P}{n}}$$ — для подшипников скольжения;

$$\Delta P_п = 0{,}015 \frac{D_z}{D_0} \sqrt{v_z}$$ — для подшипников качения,

где l_z — длина цапфы, *см*;

v_z — окружная скорость цапфы, *м/сек*;

D_z — нагрузка на кольцах шарикового подшипника, *кГ*;

D_0 — диаметр круга, взятого по центру шариков, *см*.

При перемотках, связанных с уменьшением числа полюсов, увеличивается шаг обмотки и вылет лобовых частей. Следует проверить допустимость этого с точки зрения обеспечения требуемого изоляционного расстояния между торцевыми крышками и обмоткой.

Пример расчета электродвигателя со скоростью вращения 1 500 *об/мин* на скорость вращения 3 000 *об/мин*.

Технические данные электродвигателя:

Мощность P	4,5 *квт*
Напряжение	220/380 *в*
Ток	16/9,3 *а*
Скорость вращения (синхронная) n_c	1 500 *об/мин*
Вид исполнения	Защищенный

Данные замеров:

а) Статор

Внутренний диаметр пакета стали D_{i1}	152 *мм*
Полная длина пакета стали l_{t1}	120 *мм*
Число вентиляционных каналов	2
Ширина вентиляционных каналов $b_{к1}$	10
Коэффициент заполнения пакета стали (лаковая межлистовая изоляция, толщина листов 0,5 *мм*) k_1	0,93
Число пазов z_1	36
Высота спинки h_{a1}	25 *мм*
Тип обмотки	Двухслойная

Число эффективных проводов в пазу $S_{эфф1}$ 32
Число элементарных проводников в эффективном проводе m_1 2
Число параллельных ветвей в фазе a_1 . . . 1
Диаметр элементарного проводника d_1 . . . 1,16 *мм*
Сечение элементарного проводника $q_{э1}$ . . . 1,057 *мм²*
Сечение эффективного провода в пазу $Q_{эфф1}$ 2,11 *мм²*

б) Ротор

Наружный диаметр пакета стали D_{a2} . . . . . 151,2 *мм*
Полная длина пакета стали l_{t2} . . . . 120 *мм*
Диаметр вала $d_в$ . . . . 45 *мм*
Число зубцов z_2 28
Высота тела ротора h_{a2} . . . . 30 *мм*
Ротор . . . . Короткозамкнутый

Расчет.

1. Проверка соотношения числа полюсов и числа пазов:

$z_2 \neq z_1$;	$28 \neq 36$
$z_2 \neq 0,5z_1$;	$28 \neq 18$
$z_2 \neq 2z_1$;	$28 \neq 72$
$z_2 \neq 6pk$;	$28 \neq 6,\ 12,\ 18,\ 24$
$z_2 \neq 6pk + 2p$;	$28 \neq 8,\ 14,\ 20,\ 26$
$z_2 \neq z_1 \pm p$;	$28 \neq 35,\ 37$
$z_2 \neq z_1 + 2p$;	$28 \neq 38$
$z_2 \neq 0,5z_1 \pm p$;	$28 \neq 17,\ 19$
$z_2 \neq 2z_1 + 2p$;	$28 \neq 74$
$z_2 \neq 6pk \pm 1$;	$28 \neq 5, 7 \ldots 23,\ 25$
$z_2 \neq 6pk \pm (2p \pm 1)$;	$28 \neq 3,\ 5 \ldots 25,\ 27$

Изменение числа полюсов не вызовет прилипания и застревания ротора, а также повышенного шума при работе электродвигателя.

2. Окружная скорость ротора

$$v_р = \frac{\pi D_{a2} n_{с.н}}{60 \cdot 1\,000} = \frac{3,14 \cdot 151,2 \cdot 3\,000}{60 \cdot 1\,000} = 23,8 \text{ м/сек}$$

значительно меньше предельной.

3. Прочность свободного конца вала.

Согласно рис. 3-6 конец вала диаметром 45 *мм* удовлетворяет условиям прочности.

4. Число полюсов

$$2p_н = \frac{6\,000}{n_{с.н}} = \frac{6\,000}{3\,000} = 2.$$

5. Полюсное деление

$$\tau_н = \frac{\pi D_{i1}}{2p_н} = \frac{3,14 \cdot 15,2}{2} = 23,9 \text{ см}.$$

6. Активная длина пакета стали статора

$$l_1 = k_1(l_{t1} - n_{к1}b_{к1}) = 0,93(12 - 2 \cdot 1) = 9,3 \text{ см}.$$

7. Активная длина пакета стали ротора

$$l_2 = k_1 l_{t2} = 0,93 \cdot 12,0 = 11,2 \text{ см}.$$

8. Число пазов на полюс и фазу обмотки статора

$$q_{1н} = \frac{z_1}{3 \cdot 2p_н} = \frac{36}{3 \cdot 2} = 6.$$

9. Обмотка статора сохраняется двухслойной, сокращение шага принимается равным 0,7.

10. Шаг обмотки статора

$$y_{1н} = \frac{\beta z_1}{2p_н} = \frac{0,7 \cdot 36}{2} = 12,6;$$

округляется до 13.

11. Обмоточный коэффициент обмотки статора.

По табл. 3-4 $k_{\beta 1н} = 0,853$.

12. Число эффективных проводов в пазу при сохранении типа обмотки (предварительно)

$$S_{эфф1н}' = S_{эфф1с} \frac{p_н}{p_с} = 32 \cdot \frac{1}{2} = 16.$$

13. Индукция в воздушном зазоре

$$B_{\delta н} = \frac{2,5 U_ф p_н 10^2 \cdot a_1}{z_1 D_{i1} l_{t1} k_{\beta 1н} S_{эфф1н}} = \frac{2,5 \cdot 220 \cdot 1 \cdot 10^2 \cdot 1}{36 \cdot 15,2 \cdot 12,0 \cdot 0,853 \cdot 16} = 0,61 \text{ тл}.$$

14. Индукция в спинке статора

$$B_{a1н} = 0,55 B_{\delta н} \frac{D_{i1}}{h_{a1}} \frac{l_{t1}}{l_1} \frac{1}{p_н} = 0,55 \cdot 0,61 \frac{15,2}{2,5} \cdot \frac{12}{9,3} \cdot \frac{1}{1} = 2,6 \text{ тл}.$$

15. Индукция в теле ротора

$$B_{a2н} = 0,55 B_{\delta н} \frac{D_{a2}}{h_{a2}} \frac{l_{t2}}{l_2} \frac{1}{p_н} = 0,55 \cdot 0,61 \frac{15,12}{3,0} \cdot \frac{12}{11,2} \cdot \frac{1}{1} = 1,8 \text{ тл}.$$

16. Индукция в спинке статора превосходит максимально допустимую и должна быть снижена. Индукция в теле ротора находится в допустимых пределах. Индукция в зубцах статора и ротора не проверяется (изменение числа полюсов не влияет на их величину).

17. Индукция в спинке статора принимается 1,6 *тл*. В соответствии с этим пересчитывается:

$$S_{эфф1н} = 16 \cdot \frac{2,6}{1,6} = 26.$$

18. Сечение эффективного провода

$$Q_{эфф1н} = Q_{эфф1с} \frac{S_{эфф1с}}{S_{эфф1н}} = 2,11 \frac{32}{26} = 2,59 \text{ мм}^2.$$

19. Число элементарных проводников в эффективном проводе сохраняется: $m_{1н} = m_{1с} = 2$.

20. Сечение элементарного проводника

$$q_{э1н} = \frac{Q_{эфф1н}}{m_{1н}} = \frac{2,59}{2} = 1,3 \text{ мм}^2.$$

21. Диаметр элементарного проводника

$$d_{1н} = 1{,}14\sqrt{q_{э1н}} = 1{,}14\sqrt{1{,}3} = 1{,}29 \text{ мм};$$

округляется до ближайшего стандартного диаметра 1,3 *мм*, чему соответствует сечение 1,327 *мм*^{2}.

22. Фазный ток ротора при сохранении плотности тока в заводском исполнении, равной 4,4 *а/мм*^{2}:

$$I_{ф1н} = j_1 Q_{эфф1н} = 4{,}4 \cdot 1{,}327 \cdot 2 = 11{,}7 \ a.$$

23. Кажущаяся мощность электродвигателя

$$P'_н = \frac{3U_ф I_{ф1н}}{1\,000} = \frac{3 \cdot 11{,}7 \cdot 220}{1\,000} = 7{,}7 \text{ ква}.$$

24. Номинальная мощность электродвигателя при $\cos\varphi = 0{,}89$ и $\eta \approx 0{,}87$ (согласно табл. 3-5): $P_н = P'_н \cos\varphi \cdot \eta = 7{,}7 \cdot 0{,}89 \cdot 0{,}87 \approx 6{,}0$ *квт*.

3-9. РАСЧЕТ ПРИ ЗАМЕНЕ МЕДНЫХ ПРОВОДОВ АЛЮМИНИЕВЫМИ

При ремонте обмоток, связанном с заменой медных проводов алюминиевыми, основным фактором, влияющим на ход расчета, является различие в их удельном сопротивлении, составляющем при 20° С:

для меди $\rho_м = 0{,}017$ *ом · мм*^{2}*/м*;

для алюминия $\rho_а = 0{,}028$ *ом · мм*^{2}*/м*.

Отношение удельных сопротивлений алюминия и меди

$$\frac{\rho_а}{\rho_м} = \frac{0{,}028}{0{,}017} = 1{,}65.$$

Если выполнить вместо медной обмотки алюминиевую проводом того же размера, оставив без изменения индукцию в воздушном зазоре и число эффективных проводов в пазу, то при номинальном токе возрастут потери в обмотке. Потери в стали останутся без изменения.

Для того чтобы сохранить потери в обмотке на прежнем уровне и тем сохранить суммарные потери электродвигателя, необходимо снизить фазный ток. Это снижение определится следующим образом.

Потери в фазе медной обмотки

$$\Delta P_м = \frac{I^2_{1ф.м}\rho_м l}{Q_{эфф1м}}.$$

Потери в фазе алюминиевой обмотки

$$\Delta P_а = \frac{I^2_{1ф.а}\rho_а l}{Q_{эфф1а}},$$

где l — длина всех эффективных проводов в фазе.

Здесь и далее к обозначениям, относящимся к исполнению обмотки медным проводом, добавлен индекс «м», к исполнению обмотки алюминиевым проводом — индекс «а».

При $Q_{эфф1а} = Q_{эфф1м}$ и $\Delta P_м = \Delta P_а$

$$I_{ф.а} = \frac{I_{ф.м}}{\sqrt{1{,}65}} = 0{,}78 I_{ф.а},$$

т. е. фазный ток должен быть снижен на 22%. Практически на столько же снижается и номинальная мощность электродвигателя.

Если же требуется сохранить номинальные ток и мощность электродвигателя, то для сохранения потерь в обмотке статора следует увеличить сечение эффективного провода. Это увеличение определяется следующим образом.

Так как

$$\frac{I^2_{1ф}\rho_м l}{Q_{эфф1м}} = \frac{I^2_{1ф}\rho_а l}{Q_{эфф1а}},$$

то

$$\frac{\rho_м}{Q_{эфф1м}} = \frac{\rho_а}{Q_{эфф1а}} = \frac{1{,}65\rho_м}{Q_{эфф1а}}$$

или

$$Q_{эфф1а} = 1{,}65 Q_{эфф1м}.$$

При изготовлении обмотки из круглых проводов диаметр неизолированного (алюминиевого) провода должен быть увеличен по сравнению с медным:

$$d_а = \sqrt{1{,}65}\, d_м = 1{,}28 d_м,$$

т. е. на 28%.

При указанном увеличении диаметра проводов для возможности их укладки прибегают к следующим мерам.

1. Применяют обмоточные провода класса нагревостойкости Е марки ПЭВА-2 на поливинилацеталевом лаке или марки ПЭЛРА-2 на полиамиднорезольном лаке, имеющие более тонкую изоляцию, чем медные провода класса нагревостойкости А, марок ПБД и ПЭЛБО, которыми выполнялась обмотка в заводском исполнении.

Толщина изоляции проводов марок ПЭВА-2 и ПЭЛРА-2 значительно меньше, чем у проводов марок ПБД и ПЭЛБО, и составляет:

для диаметров	0,57—0,64	0,05 *мм*
« «	0,64—0,72	0,06 *мм*
« «	0,74—0,96	0,065 *мм*
« «	1,00—2,02	0,08 *мм*
« «	2,10—2,24	0,095 *мм*

2. Изоляцию паза выполняют тонкими электроизоляционными материалами класса нагревостойкости Е.

Для электродвигателей мощностью до 100 *квт* со всыпной обмоткой подробные рекомендации по замене медных проводов алюминиевыми, направленные либо на сохранение номинальной мощности электродвигателя при одновременном переводе их изоляции на класс нагревостойкости Е, либо на незначительное снижение, на 10—15% при сохранении класса изоляции А, разработаны инженером Н. М. Слонимом [Л. 25]. В этих рекомендациях учтена необходимость сохранения допустимых значений вращающих моментов, $\cos\varphi_н$ и η.

3-10. РАСЧЕТ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА

При увеличении зазора между статором и ротором существенно повышается сопротивление всей магнитной цепи электродвигателя, что вызывает увеличение тока холостого хода, снижение $\cos\varphi$ и полезной мощности электродвигателя.

При ремонте таких электродвигателей рационально изменить число эффективных проводов в пазу (число эффективных витков в фазе) с тем, чтобы ток холостого хода остался неизменным.

Ниже приводится соответствующий расчет для этого изменения.

1. Относительное увеличение магнитного сопротивления зазора

$$\Delta R_\delta = \frac{\delta_н k_{\delta н} - \delta_c k_{\delta c}}{\delta_c k_{\delta c}},$$

где δ_c — величина воздушного зазора в заводском исполнении;

$\delta_н$ — величина воздушного зазора при ремонте;

$k_{\delta c}$ — коэффициент воздушного зазора в заводском исполнении, равный:

$$k_{\delta c} = \left(\frac{t_{z1} + 10\delta_c}{b'_1 + 10\delta_c}\right)\cdot\left(\frac{t_{z2} + 10\delta_c}{b'_2 + 10\delta_c}\right);$$

$k_{\delta н}$ — коэффициент воздушного зазора при ремонте, равный:

$$k_{\delta н} = \left(\frac{t_{z1} + 10\delta_н}{b'_1 + 10\delta_н}\right)\cdot\left(\frac{t_{z2} + 10\delta_н}{b'_2 + 10\delta_н}\right);$$

t_{z1} — зубцовый шаг статора;

t_{z2} — зубцовый шаг ротора;

b'_1 — ширина зубца статора в самом широком месте;

b'_2 — ширина зубца ротора в самом широком месте.

2. При существующих соотношениях сопротивлений различных участков магнитной цепи в асинхронных двигателях относительное увеличение магнитного сопротивления всей цепи составляет:

$$\Delta R_\mu = (0{,}7 \div 0{,}8)\,\Delta R_\delta.$$

3. Новое число эффективных витков $w_{эфф1н}$ определяется из соотношений м. д. с. в заводском исполнении и при ремонте:

$$F_c = I_{х.х.c} w_{эфф1c} = \frac{I_{х.х.c} S_{эфф1c} z_1}{6} = \Phi_c R_{\mu c};$$

$$F_н = I_{х.х.н} w_{эфф1н} = \frac{I_{х.х.н} S_{эфф1н} z_1}{6} = \Phi_н R_{\mu н},$$

где Φ_c — магнитный поток в заводском исполнении;

$\Phi_н$ — магнитный поток при ремонте;

$R_{\mu c}$ — магнитное сопротивление потоку в заводском исполнении;

$R_{\mu н}$ — магнитное сопротивление потоку при ремонте.

4. Из условия сохранения тока холостого хода следует:

$$\frac{S_{эфф1н}}{S_{эфф1c}} = \frac{\Phi_н R_{\mu н}}{\Phi_c R_{\mu c}} = \frac{B_{\delta н} R_{\mu н}}{B_{\delta c} R_{\mu c}}.$$

Исходя из того, что до и после ремонта номинальное напряжение должно сохраняться, в соответствии с формулой (3-14), можно представить:

$$\frac{B_{\delta н}}{B_{\delta c}} = \frac{S_{эфф1c}}{S_{эфф1н}},$$

откуда

$$\frac{S_{эфф1н}}{S_{эфф1c}} = \frac{S_{эфф1c}}{S_{эфф1н}}\cdot\frac{R_{\mu н}}{R_{\mu c}},$$

т. е. новое число эффективных проводников в пазу составит:

$$S_{эфф1н} = S_{эфф1c}\sqrt{\frac{R_{\mu н}}{R_{\mu c}}}.$$

5. В относительных единицах $\frac{R_{\mu н}}{R_{\mu с}} = 1 + \Delta R_{\mu}$. Поэтому число эффективных проводников в пазу, а также число эффективных витков в фазе повышаются в соотношении $S_{эфф1н} = S_{эфф1с}\sqrt{1+\Delta R_{\mu}}$; $w_{эфф1н} = w_{эфф1с}\sqrt{1+\Delta R_{\mu}}$.

6. При сохранении коэффициента заполнения паза и плотности тока сечение эффективного провода и ток фазы снижаются в соотношении

$$\frac{1}{\sqrt{1+\Delta R_{\mu}}},\ \text{т. е.}$$

$$Q_{эфф1н} = \frac{Q_{эфф1с}}{\sqrt{1+\Delta R_{\mu}}};\quad I_{ф1н} = \frac{I_{ф1с}}{\sqrt{1+\Delta R_{\mu}}}.$$

Полезная мощность электродвигателя снизится несколько больше, чем номинальный ток, так как $\cos\varphi$ хотя и несколько поднимается после перемотки с увеличением числа эффективных витков, но все же будет ниже, чем у электродвигателя в заводском исполнении.

Можно считать, что новая мощность электродвигателя составит:

$$P_{н} = 0{,}9\frac{P_{с}}{\sqrt{1+\Delta R_{\mu}}}.$$

Если при ремонте электродвигателя с увеличенным воздушным зазором поставить задачу сохранения не намагничивающего тока, а $\cos\varphi$, то, пользуясь аналогичной методикой расчета, получаем:

$$S_{эфф1н} = S_{эфф1с}(1+\Delta R_{\mu});$$

$$Q_{эфф1н} = \frac{Q_{эфф1с}}{1+\Delta R_{\mu}};$$

$$I_{ф1н} = \frac{I_{ф1с}}{1+\Delta R_{\mu}};$$

$$P_{н} = \frac{P_{с}}{1+\Delta R_{\mu}}.$$

Глава четвертая

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕМОНТ ОБМОТОК

4-1. ПРИМЕНЯЕМЫЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

При ремонте электродвигателей преимущественное применение имеют следующие электроизоляционные материалы:

волокнистые материалы — дерево, бумага, картон и лента;

слюдяные и слюдинитовые изделия — миканит, микафолий и микалента;

слоистые пластики — гетинакс, текстолит и дельта-древесина;

лакированные ткани;

лаки и эмали.

Назначение и основные хаарктеристики этих материалов.

Дерево. Преимущественно применяется древесина твердых пород — бук, граб и береза. Из-за большой гигроскопичности древесины все деревянные детали должны подвергаться сушке и пропитке олифой, парафином или трансформаторным маслом. Ввиду того что древесина особенно интенсивно впитывает влагу вдоль волокон, следует торцы деталей покрывать водостойким лаком или эмалью.

Объемный вес древесины после сушки 0,5 —0,87 *г/см³*.

Предел прочности при растяжении вдоль волокон 700—1 200 *кГ/см²*.

Предел прочности при растяжении поперек волокон 250—650 *кГ/см²*.

Предел прочности при сжатии вдоль волокон 350—600 *кГ/см²*.

Электрическая прочность 2—5,3 *кв/мм*.

Бумага изготовляется из волокон целлюлозы, хлопка, тростника, асбеста и стекла. Наиболее применимые при ремонте; кабельная бумага марок К-080, К-120, К-170 толщиной соответственно 0,08; 0,12, и 0,17 *мм* и телефонная бумага марок КТ-04 и КТ-05 толщиной соответственно 0,04 и 0,05 *мм*. Кабельная и телефонная бумага обладает сравнительно высокими механическими свойствами, но малой нагревостойкостью и низкой электрической прочностью. Пропитка бумаги маслом, лаком, компаун-

дом и другими пропиточными веществами повышает ее электрическую прочность и нагревостойкость.

Бумага, дополнительно обработанная водным раствором хлористого цинка, после промывки и опрессовки образует плотный, но поддающийся механической обработке и формованию материал — фибру. Тонкие сорта фибры носят название летероида.

Из волокнистого асбеста изготовляют бумагу высокой нагревостойкости. Недостатком асбестовой бумаги является малая механическая прочность, для повышения которой к волокнам асбеста добавляют хлопчатобумажные волокна, несмотря на то что это добавление снижает нагревостойкость бумаги. Асбестовая бумага выпускается толщиной 0,2—0,5 *мм*.

Объемный вес кабельных и телефонных бумаг 0,75—0,8 *г/см*³, асбестовой бумаги 0,5 *г/см*³. Разрывное усилие в продольном направлении для кабельных и телефонных бумаг 6—7 *кГ/мм*² и для асбестовой бумаги 0,45—0,7 *кГ/мм*². В поперечном направлении разрывное усилие бумаг в 2—2,5 раза меньше. Электрическая прочность бумаг 8—12 *кв/мм*, асбестовых бумаг 4—6 *кв/мм*.

Картон отличается от бумаги большей толщиной и плотностью. Для изготовления прочных сортов картона частично или полностью применяется тряпичное волокно. Картон предназначается как для работы на воздухе, так и в масле.

При ремонте электродвигателей применяется предварительно просушенный картон. При изготовлении из картона пазовых коробок (гильз) и деталей крепления обмоток электродвигателей высушенный картон дополнительно пропитывается олифой, трансформаторным маслом или лаком.

Объемный вес картона 0,9—1,3 *г/см*³. Электрическая прочность воздушного картона 8—13 *кв/мм*, предназначенного для работы в масле 20—40 *кв/мм* и асбестового 2—3,5 *кв/мм*.

Ленты. Хлопчатобумажные, асбестовые и стеклянные ленты применяются главным образом как монтажный, скрепляющий материал при изготовлении обмоток. В электродвигателях низкого напряжения с изоляцией класса А хлопчатобумажные ленты применяются также для витковой и общей изоляции обмоток. Ввиду высокой гигроскопичности применение хлопчатобумажных лент допустимо только после сушки и пропитки лаком.

Хлопчатобумажные ленты подразделяются на киперные, тафтяные, миткалевые и батистовые и имеют толщину соответственно 0,45; 0,25; 0,22; 0,18 *мм*. Ширина киперных и тафтяных лент 10—60 *мм*, миткалевых 12—35 *мм* и батистовых 12—20 *мм*. Разрывное усилие для хлопчатобумажных лент 2,5—4,5 *кГ/мм*².

Асбестовые ленты изготовляются толщиной 0,4—0,5 *мм* и шириной 20—30 *мм*. Разрывное усилие для асбестовых лент 0,4—0,5 *кГ/мм*². Стеклянные ленты изготовляются толщиной 0,08—0,25 *мм*, разрывное усилие составляет для них 10—13 *кГ/мм*².

Слюдяные и слюдинитовые изделия. Слюда, из которой изготовляются электроизоляционные материалы, подразделяется на два вида — мусковит и флогопит.

По электроизоляционным качествам мусковит лучше флогопита, он более тверд и стоек к истиранию. Флогопит очень гибок, что делает его весьма технологичным.

Из-за дефицитности и высокой стоимости натуральная листовая слюда применяется только в исключительных случаях. Для изолировки обмоток применяют слюдяные материалы, состоящие из лепестков слюды — пластинок сравнительно небольших размеров, склеенных между собой смолой или клеящим лаком. К слюдяным материалам относятся миканиты, микафолий и микаленты. В зависимости от вида смолы или лака, а также способа обработки слюдяные материалы могут быть твердыми, гибкими или формовочными (способными формоваться при нагревании и сохранять эту форму после остывания).

Различают следующие слюдяные изделия:

Миканит коллекторный изготовляется из слюды флогопит. Склеивается шеллачным или глифталевым лаком или аммофосом (раствор сернокислого аммония). Содержит 4—6% клеящих. Выпускается в листах толщиной 0,4—1,2 *мм*. Электрическая прочность не менее 18 *кв/мм*. Применяется для изоляции коллекторных пластин.

Миканит прокладочный изготовляется из слюды флогопит или мусковит или их смеси. Склеивается шеллачным, глифталевым или кремнийорганическим лаком. Содержит 5—20% клеящих. Выпускается в листах толщиной 0,15—5 *мм*. Электрическая прочность 22—38 *кв/мм*. Применяется для изготовления плоских, не подвергающихся изгибу пластин и шайб.

Миканит формовочный — вид слюды и лаков, аналогичный прокладочному миканиту. Он содержит 8—20% клеящих. Выпускается в листах толщиной 0,1—1,5 *мм*. Электрическая прочность миканита из слюды мусковит 27—38 *кв/мм*, из слюды флогопит или смеси мусковита и флогопита 27—33 *кв/мм*. Применяется для изготовления фасонных деталей — коллекторных манжет, каркасов и др.

Миканит гибкий изготовляется из слюды мусковит или флогопит. Склеивается шеллачным, глифталевым или кремнийорганическим лаком. Содержит 10—25% клеящих. Для увеличения механической прочности некоторые сорта миканита оклеиваются бумагой (подложкой). Выпускается в листах толщиной 0,15—0,5 *мм*. Электрическая прочность при толщине 0,15—0,25 *мм* 20—27 *кв/мм*, при толщине 0,3—0,5 *мм* 15—22 *кв/мм*. Применяется для изготовления пазовой, витковой и подбандажной изоляции, а также для гибких прокладок.

Стекломиканит гибкий отличается от гибкого миканита более высокими механическими качествами и нагревостойкостью. Материал подложки — стеклоткань. Выпускается в листах толщиной 0,2—0,6 *мм*. Электрическая прочность 3—9,5 *кв/мм*. Применение его аналогично гибкому миканиту, но для электродвигателей нагревостойкого и специального назначения.

Микафолий изготовляется из слюды мусковит или флогопит из пластинок, наложенных в два-три слоя на бумажную подложку. Склеивается шеллачным, глифталевым или масляно-глифталевым лаком. Содержит 12—30% клеящих. Выпускается толщиной 0,15—0,3 *мм* в рулонах и листах. Электрическая прочность 13—16 *кв/мм*. Применяется для гильзовой изоляции обмоток и изготовления фасонных деталей: втулок, коробок и др.

Стекломикафолий отличается от микафолия более высокими механическими качествами и нагревостойкостью. Материал подложки — стеклоткань. Выпускается в рулонах и листах толщиной 0,2—0,3 *мм*. Электрическая прочность 10—12 *кв/мм*. Применение его аналогично микафолию, но для электродвигателей нагревостойкого и специального назначения.

Микалента изготавливается из слюды мусковит или флогопит из пластинок, наложенных в один слой на бумажную подложку. Поверх пластинок также укладывается подложка. Склеивается масляно-битумным (для чер-

ной микаленты) или масляно-глифталевым лаком (для светлой микаленты), содержит 15—30% клеящих. Выпускается толщиной 0,08 и 0,17 *мм* в роликах. Электрическая прочность 11—20 *кв/мм*. Применяется для витковой и общей изоляции обмоток с компаундированной изоляцией, для витковой изоляции и изоляции лобовых частей обмоток с гильзовой изоляцией, для изолировки внутримашинных соединений и конструктивных деталей электродвигателей.

Стекломикалента отличается от микаленты более высокой нагревостойкостью. Материал подложек — стеклоткань. Выпускается толщиной 0,13—0,20 *мм*. Электрическая прочность 10—15 *кв/мм*.

Микашелк отличается от микаленты более высокими механическими качествами. Материал подложек — шелковая ткань. Выпускается толщиной 0,13 и 0,15 *мм*. Электрическая прочность 12 *кв/мм*.

Стремление полезно использовать многочисленные отходы слюды, получающиеся при изготовлении миканита, микафолия и микаленты, а также желание утилизировать очень мелкие пластинки и крошки слюды (скрап) привели к созданию так называемых слюдинитовых материалов.

Изготовляются эти материалы путем размельчения и последующей термохимической обработки скрапа, при этом образуется однородная разрыхленная масса. Из этой массы на бумагоделательной машине изготовляются листы, которые после склеивания с подложками образуют материал, приближающийся по своим качествам к слюдяным — микаленте, миканиту, микафолию.

По влагостойкости и механическим качествам слюдинитовые материалы уступают соответствующим слюдяным материалам, но они равномерны по толщине и имеют одинаковую электрическую прочность по всей площади листа или ленты.

Слоистые пластики — гетинакс, текстолит, дельта-древесина — состоят из нескольких слоев бумаги, ткани или древесного шпона, пропитанных термореактивным лаком и отвердевших в процессе нагревания и опрессовки.

В качестве основы применяются: для гетинакса — целлюлозная бумага, для текстолита — хлопчатобумажная, шелковая, капроновая, асбестовая и стеклянная ткани; для дельта-древесины (древеснослоистый пластик) — березовый фанерный шпон толщиной 0,2—0,8 *мм*.

Связующими при изготовлении пластиков являются фенольные, меламиновые, эпоксидные, полиэфирные, кремнийорганические и некоторые другие смолы и их смеси. Виды основы и связующего лака определяют рабочую температуру и механические качества слоистых пластиков. Слоистые пластики обладают высокими электрическими и механическими качествами, применяются в равной мере как электроизоляционный и конструкционный, главным образом крепежный, материал

Лакированные ткани представляют собой гибкий электроизоляционный материал, изготовленный из ткани, пропитанной лаком или составом, образующим на ее поверхности запеченную эластичную пленку.

В качестве основы применяются хлопчатобумажная, шелковая и капроновая ткани, а также ткань из бесщелочного стекловолокна. Для пропитки применяются масляные, масляно-битумные и специальные нагревостойкие лаки на основе модифицированных глифталевых смол, кремнийорганические лаки, синтетический каучук и др.

При ремонте электродвигателей лакоткани нашли широкое применение для витковой и корпусной изоляции обмоток, для изолировки внутримашинных соединений и некоторых конструкционных деталей электродвигателей.

Лакоткани выпускаются толщиной от 0,08 до 0,3 *мм*. Предел прочности при растяжении по основе 2—6 *кГ/мм*^{2} и по утку 1,6—3 *кГ/мм*^{2}. Электрическая прочность в исходном состоянии (до перегиба) 15—50 *кв/мм*.

Лаки и эмали. Лаками называются материалы, являющиеся растворами лаковой основы (пленкообразующих веществ), со специальными растворителями, обладающими способностью испаряться при нагреве (бензин, толуол, скипидар, бензол, уайт-спирит и др.). Пленкообразующие вещества после испарения растворителя образуют твердую электроизоляционную пленку.

По своему назначению лаки подразделяются на пропиточные, клеящие и покровные. Пропитка применяется для заполнения лаком пор в электроизоляционных материалах, что обусловливает повышение электрической и механической прочности и влагостойкости обмоток.

Клеящие лаки предназначаются для склейки витков между собой, предотвращающей возможность относительного перемещения и истирания проводниковой и витковой изоляции.

Покровные лаки создают на поверхности обмотки прочный слой, защищающий изоляцию от механических повреждений, воздействия некоторых химических реагентов и способствующий уменьшению загрязнения обмоток. Покровные лаки, пигментированные минеральными наполнителями, носят название эмалей. Защитная эмалевая пленка более прочна, искростойка и дугостойка, чем пленка покровного лака.

По режиму сушки лаки разделяются на лаки воздушной, холодной сушки, пленки которых образуются при 20—25° С, и лаки печной сушки, у которых образование пленки происходит при температуре 100° С и выше.

По своему химическому составу лаковые основы подразделяются на маслосодержащие (масляно-битумные, масляно-канифольные и масляно-алкидные), смоляные и эфирно-целлюлозные.

К масляно-битумным лакам, применяемым при ремонте обмоток электродвигателей, относятся пропиточные и покровные лаки № 447, 458, 460, БТ-95, 462к, БТ-99, 317, 318 и лаки № 9000 и 9001, образующие после высыхания полупроводящий слой (создаваемый с целью устранения коронирования обмоток электродвигателей высокого напряжения).

К масляно-алкидным и масляно-канифольным, смоляным и другим видам лака относятся лаки № ГФ-95, КФ-95, 1155, МЛ-92, 202 и 302, ФЛ-98, ЭФ-1, ЭФ-5, К-40.

Особую группу образуют так называемые водоэмульсионные лаки № 321-В, 321-Т и ПФЛ-8в, представляющие собой устойчивые эмульсии лаковых основ в воде. Эти лаки не огнеопасны, обладают хорошей пропитывающей и цементирующей способностью.

Наиболее распространенными являются эмали № ГФ-92-ГС, ГФ-92-ХС, ГФ-92-ХК, 1201, ПРКЭ-13, ПКЭ-14, ПКЭ-15, ПКЭ-19 и ПВЭ-6.

Несоблюдение режима сушки или применение несоответствующих растворителей и сиккативов влечет за собой ухудшение свойств лака или эмали вплоть до их полной порчи.

4-2. ВСЫПНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРОВ

В основном на электроремонтных заводах и в цехах ремонтируются главным образом электродвигатели единой серии типов А и АО.

Электродвигатели старых типов, а также выпуска иностранных фирм поступают в ремонт в относительно малом количестве, причем число таких электродвигателей из года в год убывает.

Основная масса ремонтируемых электродвигателей мощностью до 100 *квт* и напряжением до 500 *в* общепромышленного применения имеет всыпные обмотки статоров, выполненные круглым проводом, и короткозамкнутые обмотки роторов.

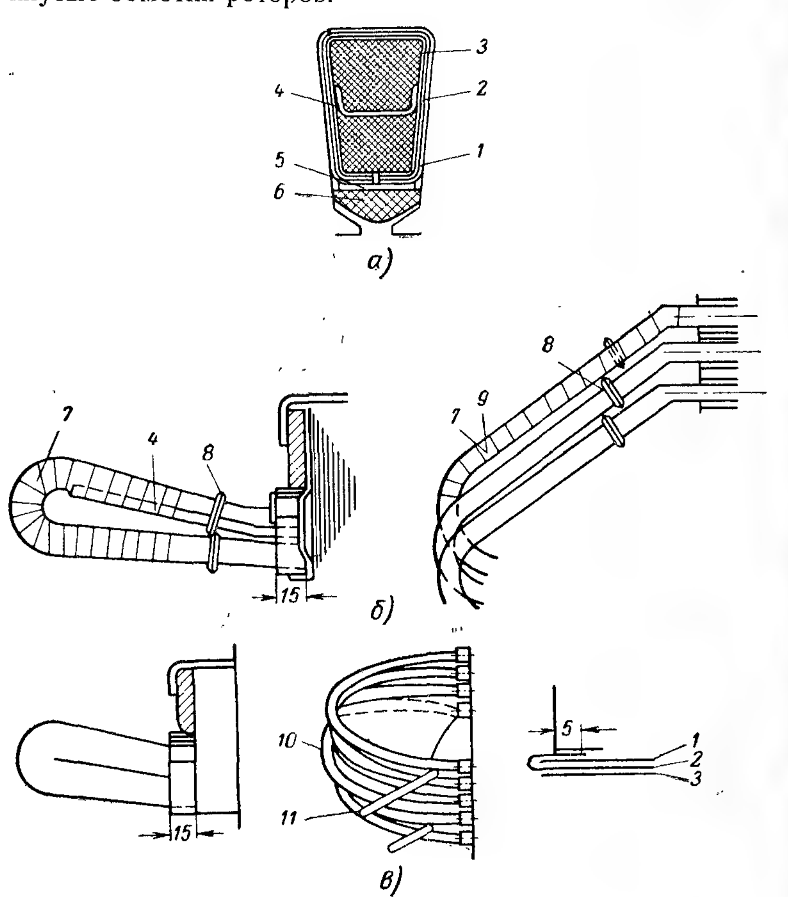


Рис. 4-1. Изоляция статорных обмоток машин переменного тока мощностью до 100 *квт*.

а — пазовая часть; *б* — междуфазовая изоляция и изоляция лобовых частей при катушечной обмотке; *в* — то же при рамочной обмотке; *г* — изоляция выхода из паза.

Для обмоток электродвигателей единой серии А и АО количество проводов ограничено 34 размерами, а количество марок — 11.

Во многих случаях провод одного и того же размера применяется для обмоток различных электродвигателей путем изменения числа параллельных проводов в эффективном проводе и числа параллельных ветвей в фазе.

Рекомендуемые конструкции изоляции всыпных двухслойных обмоток приведены на рис. 4-1. Эти конструкции следует рассматривать как примерные, от которых в зависимости от конкретных условий допустимы некоторые отклонения.

Конструкция изоляции однослойных обмоток идентична двухслойной, за исключением того, что в ней отсутствует междуфазовая прокладка (позиция *4*).

В зависимости от класса изоляции и исполнения электродвигателей в табл. 4-1 указаны типы проводов, применяемых для изготовления обмоток.

Таблица 4-1

Провода для всыпных обмоток электродвигателей мощностью 100 *квт*

Исполнение	Класс изоляции				
	A	E	B	F	H
	Марка провода				
Нормальное	ПБД, ПЭЛШКО ПЭЛБО, ПЭЛШО ПЭВ-2, ПЭВПИ-2 ПЭЛР-2	ПЭТВ ПСД ПСДТ	ПЭТВ ПСДТ ПСД	ПСД ПСДТ	ПСДК ПСДКТ
Усиленно-влагостойкое и тропическое	ПЭВ-2, ПСД ПЭЛШКО, ПСДТ	ПЭТВ ПСД ПСДТ	ПЭТВ ПСД ПСДТ	ПСД ПСДТ	ПСДК ПСДКТ
Химически стойкое	ПСД, ПСДТ	ПСД ПСДТ	ПСД ПСДТ	ПСД ПСДТ	ПСДК ПСДКТ

Примечание. Применение проводов ПБД и ПЭЛБО ввиду большой толщины их изоляции не рекомендуется.

Материалы, применяемые во всыпных обмотках, указаны в табл. 4-2.

Ремонт всыпных обмоток, т. е. обмоток, состоящих из мягких катушек, намотанных круглым проводом, разбивается на следующие основные операции: заготовка и укладка изоляционных деталей, намотка катушек, укладка обмоток, сушка и пропитка обмоток.

Ниже приводится описание каждой из этих операций.

Заготовка изоляционных деталей. Материалы, из которых изготовляются изоляционные детали, должны быть соответствующим образом подготовлены.

Электрокартон, поступающий обычно в больших тяжелых рулонах, перематывается в рулоны меньших размеров весом до 10—15 *кг* и просушивается в вертикальном положений в сушильной печи при 90—95° С в течение 1—2 *ч*. В горячем виде электрокартон пропитывается льняным маслом или натуральной олифой и вновь сушится в печи при указанной температуре в течение 3—4 *ч*.

Допускается сушка пропитанного электрокартона также на воздухе. В этом случае время сушки удлиняется до 24—36 *ч*. При сушке как в печи, так и на воздухе ру-

Таблица 4-2

Изоляция обмоток статоров электродвигателей мощностью до 100 *квт*

№ позиции на рис. 4-1	Класс изоляции														
	A			E			B			F			H		
	Материал	Марка	Толщина, *мм*	Материал	Марка	Толщина, *мм*	Материал	Марка	Толщина, *мм*	Материал	Марка	Толщина, *мм*	Материал	Марка	Толщина, *мм*
Пазовая часть															
1	Электрокартон	ЭВ	0,2	Пленкоэлектрокартон	—	0,27	Электрокартон	ЭВ	0,2	Электронит	—	0,2	Стеклолакоткань	ЛСК	0,15
2	Эскапоновая стеклолакоткань	ЛСЭ	0,2	Электрокартон	—	0,27	Гибкий миканит или стеклослюдинит	ГФЧО $Г_2СП$	0,2	Гибкий стекломиканит	$Г_2ФЭI$	0,35	Гибкий стекломиканит	$Г_2ФКII$	0,35
3	Электрокартон	ЭВ	0,2	—	—	—	Стеклолакоткань	ЛСБ	0,2	Стеклолакоткань	ЛСП	0,15	Стеклолакоткань	ЛСК	0,15
4	Электрокартон	ЭВ	0,5	Пленкоэлектрокартон	—	0,27	Лакостекломиканит	$ГФГС_1$, ЛСБ	0,5	Лакостекломиканит	$ГФПС_1$, ЛСП	0,5	Лакостекломиканит	$ГФКС_1$, ЛСК	0,5
5	Электрокартон	ЭВ	0,5	Пленкоэлектрокартон	—	0,27	Стеклотекстолит	СТ	0,5	Стеклотекстолит	СТЭФ	0,5	Стеклотекстолит	СТК-41	0,5
6	Бук, береза	—	—	Бук, береза	—	—	Стеклотекстолит	СТ	—	Стеклотекстолит	СТЭФ	—	Стеклотекстолит	СТК-41	—
Лобовая часть (вариант 1)															
7	Лента тафтяная	—	0,25	Стеклолента	—	0,1	Стеклолента	—	0,1	Стеклолента	—	0,1	Стеклолента	—	0,1
8	Чулок хлопчатобумажный	—	—	Чулок стеклянный	—	—	Чулок стеклянный	—	—	Чулок стеклянный	—	—	Чулок стеклянный	—	—
9	Эскапоновая стеклолакоткань	ЛСЭ	0,2	Стеклолакоткань	ЛСБ	0,2	Стеклолакоткань	ЛСБ	0,2	Стекломикалента	ЛС2ФГ	0,13	Стекломикалента	ЛС2ФК	0,17
Лобовая часть (вариант 2)															
10	Эскапоновая стеклолакоткань, склеенная с электрокартоном	ЛСЭ, ЭВ	0,45	Лакостекломиканит	$ГФГС_1$, ЛСБ	0,5	Лакостекломиканит	$ГФГС_1$, ЛСВ	0,5	Лакостекломиканит	$ГФПС_1$, ЛСП	0,5	Лакостекломиканит	$ГФКС_1$, ЛСК	0,5
11	Лента тафтяная	—	0,25	Стеклолента	—	0,1	Стеклолента	—	0,[illegible]	Стеклолента	—	0,1	Стеклолента	—	0,1

Примечание. Вариант 1 относится к катушечной изоляции обмотки, когда изоляция накладывается непосредственно на лобовые части. Вариант 2 относится к рамочной изоляции обмотки, когда лобовые части изолируются друг от друга прокладками. Материалы по позициям 1, 2 и 3 накладываются в 2 слоя.

лон электрокартона должен быть распущен, чтобы между отдельными слоями был зазор.

Следует также определить раскрой материала, обеспечивающий минимальные отходы.

Резка заготовок для пазовых коробок и других деталей производится рычажными ножницами, имеющими ограничительные и прижимные пленки. Резка электрокартона производится таким образом, чтобы направление волокон в уложенных в паз коробках совпадало с продольной осью электродвигателя. Лакоткань разрезается под углом 45°, а стеклоткань — под углом 15° к оси полотна.

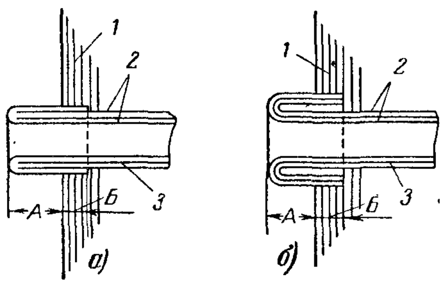


Рис. 4-2. Манжеты пазовых коробок.

а — манжета, образованная внутренним слоем пазовой коробки; *б* — манжета, образованная тремя слоями пазовой коробки; *1* — активная сталь; *2* — электрокартон; *3* — лакоткань.

Для предохранения торцов пазовых коробок, выступающих из пакета стали, от разрыва при укладке обмотки концы коробок усиливаются манжетами, исполненными по одному из вариантов, указанных на рис. 4-2.

Трехслойная манжета является более надежной, применение ее особо желательно в тех статорах, где нет опорных изоляционных колец на торцах активной стали или где нельзя изолировать нажимные шайбы статора таким образом, чтобы их изоляция являлась опорой для концов пазовых коробок. Однако следует считаться с тем, что трехслойная манжета занимает больше места в пазу, чем выполненная по рис. 4-2,*а*.

При определении длины заготовок для коробок следует учитывать, что коробка должна выступать из пазов, а манжета заходить в паз на длину, указанную в табл. 4-3 *.

При изготовлении пазовых коробок сложенные слои заготовок обжимают в опрессовочном приспособлении, чтобы придать им нужную форму. При необходимости отдельные слои заготовок склеивают между собой.

---

* При ограниченном месте в пазу манжеты выполняются без захода в паз.

Кроме пазовых коробок, к началу ремонта должны быть подготовлены прокладки под клин, прокладки для укладки в середине паза между сторонами катушек, междуфазовые прокладки, линоксиновые трубки для изолировки мест соединения провода, изолировки внутримашинных соединений и выводных концов, а также пазовые клинья.

Таблица 4-3

Расположение манжет в пазах

Габарит двигателя	Размеры, *мм* (рис. 4-2)	
	А	*Б*
3 и 4	8	5
5, 6 и 7	12	8
8 и 9	15	10

Прокладки, укладываемые в паз, должны быть шире паза, чтобы можно было выполнить их со скосами по краям, как это указано на рис. 4-1 (позиция *4*).

Размер междуфазовых прокладок в лобовых частях определяется по ширине шагом обмотки, а по длине — вылетом лобовых частей.

Пазовые клинья изготовляются из пропитанной и просушенной древесины твердых пород — бука, березы или из текстолита. При небольшой толщине текстолитовые клинья более желательны, чем деревянные.

Намотка катушек. Как указывалось, всыпные обмотки изготовляются из проводов круглого сечения. Катушки желательно наматывать из одного провода. Это обеспечивает компактность и правильную форму катушки. Катушки, намотанные из двух и более параллельных проводов, сложней укладывать в паз. У таких катушек повышается вероятность перекрещиваний проводов в пазу («крестов»), являющихся одной из причин обмоточного брака из-за повреждения изоляции проводов при уплотнении катушки в пазу.

Максимальное число параллельных проводов в катушке — три. Катушки, состоящие из четырех параллельных проводов, встречаются как исключение.

Вместе с тем укладка в пазы медного провода диаметром больше 1,81 *мм* или алюминиевого провода диаметром больше 2,26 *мм* также затруднена из-за его же-

стности, что часто влечет за собой повреждение изоляции провода и разрыв вылетов пазовых коробок.

Поэтому проводник, диаметр которого выше указанного, заменяется двумя проводами.

При отсутствии требуемого провода катушку наматывают проводом, отличающимся от него как размером, так и маркой изоляции. По той же причине разбивают провода на два параллельных проводника, эквивалентных требуемому по своему суммарному сечению. Все случаи замены проводов должны быть подтверждены соответствующим расчетом.

Размеры катушек при перемотке обычно определяются по заводскому исполнению. У электродвигателей малой мощности катушки мягкие, податливые, поэтому не так важно заэскизировать форму катушки, как точно замерить длину витка.

Нужную же форму катушке придают в процессе ее укладки в пазы статора.

Длину витка можно определить также расчетным путем:

$$l_{ср} = \frac{k(D_{i1} + h_{z1})\, y_1}{z_1} + 2l_{i1} + 60,\ мм,$$

где $l_{ср}$ — средняя длина витка, *мм*;
D_{i1} — диаметр расточки статора, *мм*;
h_{z1} — высота зубца, *мм*;
y_1 — шаг обмотки по пазам;
l_{i1} — длина стали статора, включая радиальные каналы, *мм*;
k — коэффициент, определяемый по табл. 4-4;
z_1 — число пазов статора.

Целесообразно проверить размеры катушки на пробном образце.

Таблица 4-4

Коэффициент, применяемый при определении длины витка

Число полюсов $2p$	Значение коэффициента k
2	8,2
4	8,5
6	9,1
8 и более	9,8

Следует отметить, что ЦКТБ Главэлектроремонта разработаны чертежи шаблонов для изготовления катушек окончательной формы. Эти шаблоны предназначаются для электродвигателей серий А и АО, но они могут быть использованы для изготовления обмоток электродвигателей других серий. Уложенная катушка должна отстоять от торцевых щитов не менее чем на 5—7 *мм*. После укладки и пропитки лаком всей обмотки подбойкой лобовых частей нельзя уменьшать их вылеты или отгиб в радиальном направлении, так как можно повредить изоляцию.

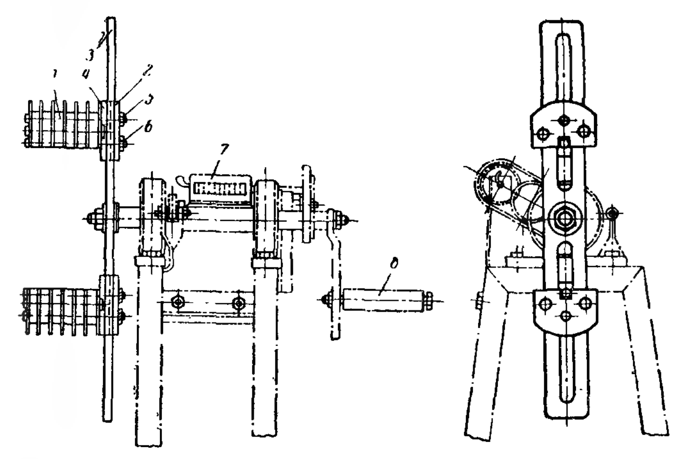


Рис. 4-3. Ручной станок для намотки катушек.

1 — колодка шаблона; *2* — планки; *3* — коромысло; *4* — ползун; *5* — шпилька; *6* — гайка; *7* — счетчик оборотов; *8* — ручка.

На рис. 4-3 изображен станок с ручным приводом для намотки мягких катушек. Изменение размеров наматываемых катушек достигается передвижением колодок шаблона *1* по коромыслу *3*. Станок снабжен счетчиком оборотов *7*. Надобность в этом счетчике объясняется тем, что число витков в катушках может быть невелико и точность отсчета имеет большое значение.

На рис. 4-4 изображен универсальный шаблон, в котором изменение размеров катушки достигается путем передвижения шпилек *2* по плите *1*.

Целесообразно применять шаблоны, имеющие несколько ячеек и позволяющие наматывать без пайки одним отрезком провода все катушки, входящие в фазу или катушечную группу.

При работе с шаблонами очень много времени затрачивается на снятие намотанных катушек. Для быстрого

снятия намотанных катушек применяют шарнирный шаблон (рис. 4-5). Для этого отвинчивают гайку *2* и снимают планку *6*. При повороте планок *3* и *5* вокруг осей головки *4* сходятся к центру, тем самым освобождая все намотанные катушки. Конец обмоточного провода закрепляют за оправку *1*.

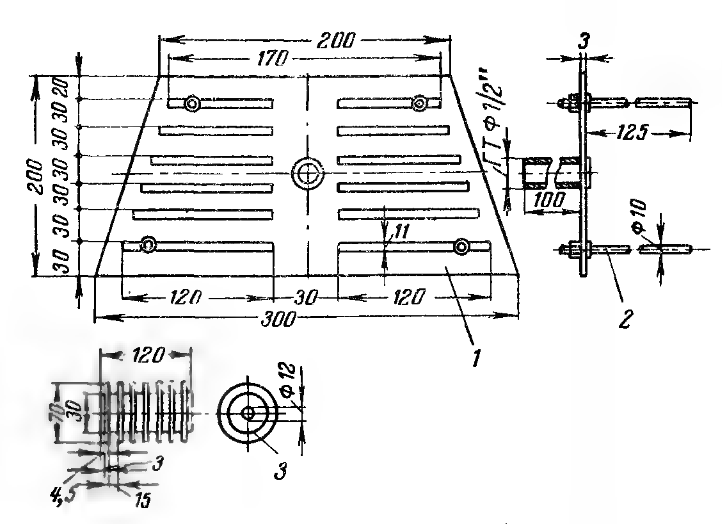


Рис. 4-4. Универсальный шаблон.
1 — плита; *2* — шпильки; *3* — ролик.

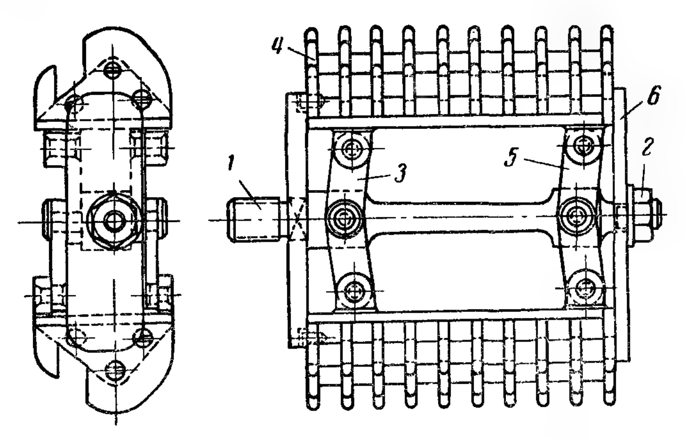


Рис. 4-5. Шарнирный намоточный шаблон.

При обрыве провода или окончании его на бухте следует место соединения с другим отрезком провода разместить в лобовой части. Место соединения защищают линоксиновой трубкой (при классах изоляции А и Е) или стеклолентой (при классах изоляции В, F и Н).

В электродвигателях единой серии малой мощности применяются концентрические однослойные обмотки. Для намотки целиком катушечной группы таких обмоток служит ступенчатый шаблон (рис. 4-6). Число ступеней этого шаблона равно числу катушек в группе.

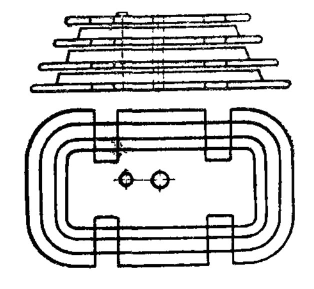


Рис. 4-6. Ступенчатый шаблон.

Укладка обмоток является одной из наиболее ответственных операций технологического процесса ремонта. Перед укладкой обмотчик должен получить и подробно ознакомиться с обмоточно-расчетной запиской ремонтируемого электродвигателя, в которой должны быть указаны:

1) паспортные данные электродвигателя;
2) число пазов статора;
3) марка и размеры обмоточного провода;
4) вид обмотки;
5) число витков в катушке;
6) число параллельных проводов в каждом витке;
7) шаг обмотки;
8) число параллельных ветвей в фазе;
9) число катушек в группе;
10) порядок чередования катушечных групп;
11) вид и класс изоляционных материалов (деталей).

Пакеты активной стали статора должны быть полностью приведены в исправность. Производить какие-либо механические работы после укладки обмотки недопустимо, это может привести к повреждению изоляции обмоток.

Статор должен быть полностью подготовлен к укладке обмотки, пазы прочищены, продуты и проверены по размерам.

Так же должны быть подготовлены все изоляционные детали и катушки обмотки. Пазовые коробочки должны быть заложены в пазы.

Каждый обмотчик, помимо обычного измерительного и монтерского инструмента (плоскогубцы, круглогубцы, кусачки, стальной и деревянный молотки, мерные линейки и др.), должен иметь специальный инструмент (рис. 4-7).

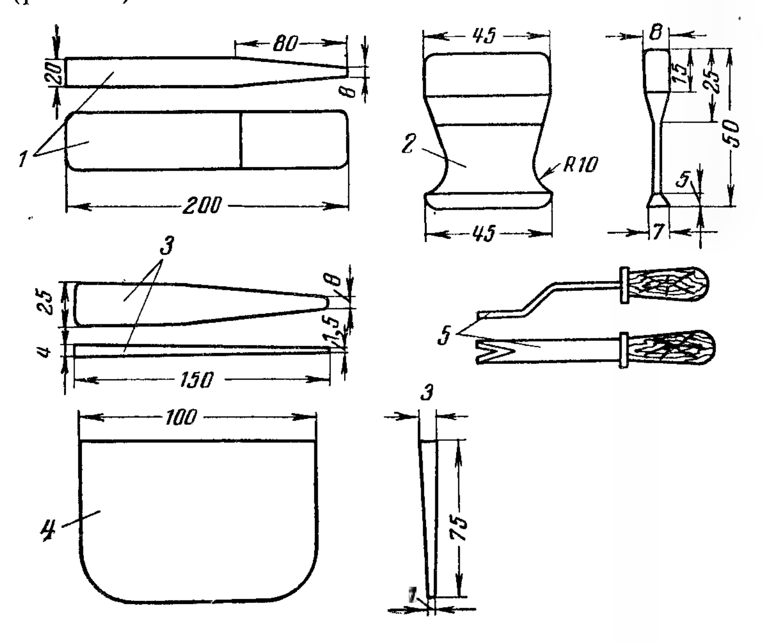


Рис. 4-7. Набор инструментов обмотчика.

1 — текстолитовая клиновидная пластина для отгиба лобовых частей; *2* — набор из 5—6 шт. подбоек для уплотнения проводов в пазу; *3* — пластинка из стали (считалка) с закругленными гранями для переборки витков; *4* — пластинки из текстолита для проталкивания проводов через шлиц паза; *5* — нож для обрезки краев гильзы.

Во избежание порчи изоляции в процессе укладки обмоток инструмент должен содержаться в полном порядке, не иметь зазубрин, заусенцев и других дефектов.

Рабочим местом обмотчика является поворотный стол, дающий возможность поворачивать статор вокруг вертикальной оси (рис. 4-8). Он состоит из верхнего поворотного диска *1* и нижнего неподвижного диска *6*, прикрепленного к верстаку *8* с помощью болтов *5*. В дисках проточена кольцевая канавка, в которую заложены шарики *4*, что дает возможность легко поворачивать диск *1* вокруг оси вращения *7*. Втулка *2* служит для подачи

смазки в эту ось. Фиксация положения поворотного диска по отношению к неподвижному осуществляется защелкой *3*, входящей в прорези, расположенные по периферии диска *1*.

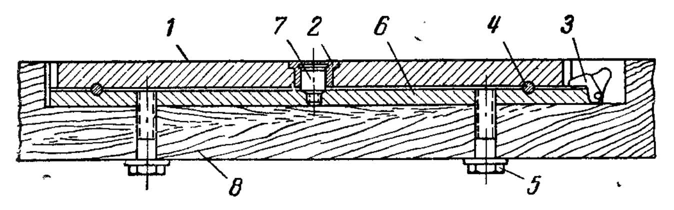


Рис. 4-8. Поворотный стол.

Для поворота статора вокруг его горизонтальной оси служит роликовое приспособление (рис. 4-9).

Указанные два приспособления дают возможность установить и закрепить статор в любом удобном для обмотчика положении.

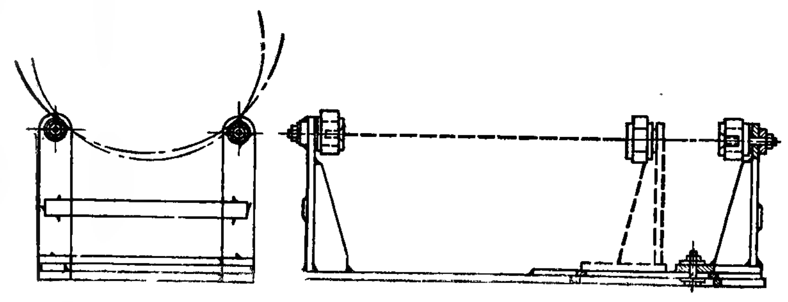


Рис. 4-9. Приспособление для поворота статора.

Технологический процесс укладки обмотки должен начинаться с проверки симметричности расположения пазовых коробок.

Катушку, подлежащую укладке, располагают над пазом, находящимся в самом низу расточки и, пользуясь специальной пластинкой *4* (рис. 4-7), проталкивают через шлиц все проводники катушки.

Во избежание перекрещивания проводников в пазу укладку их нужно производить в том же порядке, в котором эти проводники наматывались на шаблон. Необходимо внимательно следить, чтобы все проводники располагались параллельно друг другу. Указанным спосо-

бом, поворачивая каждый раз корпус статора на одно пазовое деление, укладывают на дно паза все остальные катушки первой катушечной группы. Затем начало и конец катушечной группы надежно закрепляются лентой, шпагатом или «чулком» по наружному контуру головок лобовых частей крайних катушек. Выводные концы располагают параллельно проводам катушки.

Таким же способом укладываются своими нижними сторонами катушки следующей катушечной группы до тех пор, пока не будут заложены стороны всех катушек, входящих в шаг.

Далее все катушки (за исключением катушек первого шага) укладываются в пазы как нижними, так и верхними сторонами, причем после укладки нижних сторон катушек в пазы закладываются межслойные прокладки, закрепляются начала и концы группы, а затем закладываются верхние стороны катушечных групп. Межслойные прокладки, уложенные неправильно, с перекосом, не только не изолируют между собой стороны разных катушек, уложенных в один паз (катушки могут принадлежать разным фазам), но и могут явиться причиной брака при уплотнении обмотки.

Закладка верхних сторон катушек является более ответственной и трудоемкой операцией, чем закладка нижних сторон, так как часть паза уже заполнена проводами нижней катушки и межслойной прокладкой.

Перед закладкой проводов верхних катушек производится уплотнение проводов в пазу. Для этого в паз вставляют уплотнитель, продвигают его по межслойной прокладке и однорвеменно с продвижением ударяют по нему молотком, тем самым осаживая обмотку ко дну паза. Затем провода верхних сторон катушек выравниваются и через шлиц закладываются в паз. В некоторых случаях после укладки только части проводов верхней стороны катушки приходится повторно уплотнять паз.

Перед укладкой катушек последнего шага необходимо не заложенные ранее в пазы верхние стороны катушек первого шага отогнуть к центру расточки, для того чтобы создать возможность укладки нижних сторон последних катушек.

Укладка верхних сторон катушек, которые подвергались резким перегибам в лобовых частях и провода которых могут быть перепутаны между собой, требует внимания и достаточных производственных навыков обмот-

чиков. В частности, до укладки проводники расправляют и придают им нужную форму. Укладку в пазы производят осторожно, следя за целостью изоляции, параллельностью и отсутствием перекрещивания проводников.

После укладки всех витков из паза удаляют направляющие вкладыши, вновь уплотняют провода, закрывают пазовую изоляционную коробку, закладывают подклиновые прокладки и заклинивают паз, не допуская заедания пазовой коробки забиваемым клином, которым можно легко повредить пазовую коробку.

После укладки верхних сторон катушек и заклиновки пазов в лобовых частях между катушечными группами устанавливаются прокладки под первые катушки каждой группы. Эти прокладки называются междуфазовыми и являются изоляцией между соседними катушками, принадлежащими к разным фазам.

Форма междуфазовых прокладок должна повторять форму лобовых частей обмотки с припуском в 5—7 *мм* по всему контуру.

Междуфазовые прокладки должны не только перекрывать концы выступающих из пазов межслойных прокладок, но и надежно отделять нижние стороны катушечных групп от верхних сторон, расположенных в этих пазах.

В процессе укладки обмотки должен производиться отгиб (отбойка) лобовых частей в направлении от внутреннего к наружному диаметру сердечника статора. Этот отгиб, величина которого составляет 6—8°, должен обеспечивать свободный ввод ротора в расточку статора.

Чтобы не повредить вылеты пазовых коробок, отгиб лобовых частей должен начинаться не ближе 10—15 *мм* от торца пакета стали. Производится отгиб специальной пластиной, накладываемой всей поверхностью на лобовые части. Для проверки симметричности отгиба по окружности статора рекомендуется пользоваться специальным шаблоном.

При отгибе лобовых частей катушки плотно прижимаются друг к другу, отчего изоляция проводов может быть при этом нарушена, поэтому рекомендуется в местах соприкосновения катушек закладывать между ними дополнительную изоляцию из прокладок лакоткани.

Укладка однослойных обмоток проще, чем двухслойных, отпадает серьезная операция—подъем и последующая укладка катушек первого шага, нет надобности

в укладке межслойных прокладок. Во всем остальном процессы укладки однослойных и двухслойных обмоток одинаковы.

Пропитка обмоток. Эксплуатационная надежность электродвигателей определяется не только видом и качеством применяемых материалов для изоляции обмоток, но и правильной пропиткой обмоток. Помимо повышения электрических и механических качеств изоляции, пропитка повышает также ее нагревостойкость и влагостойкость, улучшает ее теплопроводность.

Сущность процесса пропитки заключается в удалении влаги из пор изоляционных материалов, заполнения этих пор жидким лаком и сушке лака для перевода его в твердое состояние.

При пропитке происходит цементация витков обмотки между собой, а также с витковой и корпусной изоляцией, повышение ее нагревостойкости и влагостойкости, улучшение механических и электрических качеств обмотки.

При наличии в охлаждающем воздухе не только угольной и металлической пыли, но и активных концентрированных химических реагентов применение покровных лаков может оказаться недостаточным для защиты обмоток. В этом случае применяется дополнительное покрытие специальными эмалями и обмазками, создающими более надежную защиту обмоток от внешних воздействий.

Эмали представляют собой смесь изоляционного лака с неорганическим наполнителем, улучшающим адгезию и механические свойства лака.

Клеящие лаки применяются для прочного скрепления между собой отдельных элементов уложенной обмотки, предотвращения возможности относительного перемещения и истирания проводниковой и витковой изоляции.

Помимо высоких электроизоляционных качеств, лаки должны не сильно размягчаться и быть эластичными при нагреве до температур соответственно их классу изоляции, не оказывать вредного воздействия на медь, сталь и изоляционные материалы, обладать достаточной адгезией, а также не быть токсичными и обладать малой горючестью.

В зависимости от вида изоляции обмоточного провода выбирается лак для пропитки обмоток.

Лак должен хорошо сцепляться с изоляцией провода, обладать достаточной цементирующей способностью,

а также не оказывать вредного химического воздействия на изоляцию. Поэтому для обмоток из проводов, имеющих хлопчатобумажную изоляцию, или комбинированную хлопчатобумажную и эмалевую изоляцию, пригодны любые из указанных выше лаков, даже с низкими цементирующими качествами.

Масляно-битумные лаки не пригодны для проводов с эмалевой изоляцией марок ПЭВ и ПЭЛР, так как эти лаки плохо сцепляются с изоляцией провода. Для пропитки обмоток из этих проводов применяется меламиноглифталевый лак марки МЛ-92, представляющий собой смесь масляно-глифталевого лака с 16% меламиновой смолы.

Обмотки из проводов марок ПЭВ-2 и ПЭЛР-2 предпочтительно пропитывать также лаком МЛ-92.

Водоэмульсионные лаки, несмотря на ряд преимуществ, не находят широкого применения, так как не создают хорошей пленки на хлопчатобумажной пряже, придают ей хрупкость и плохо влияют на эмалевую изоляцию.

Основным оборудованием для сушки и пропитки обмоток являются:

1. *Сушильная печь* с температурой нагрева 150—200° С и автоматическим устройством для регулировки температуры и поддержания ее на заданном уровне.

При сушке должна быть обеспечена циркуляция горячего воздуха и удаление паров воды и разбавителей.

Температура должна быть стабильной во всем объеме печи. Разность температур в рабочей зоне печи не должна превышать 5—8°. Несоблюдение этого влечет к недостаточной сушке в зонах с пониженной и чрезмерной сушке в зонах с повышенной температурой.

На рис. 4-10 изображена сушильная печь, хорошо себя зарекомендовавшая в эксплуатации. Каркас печи имеет двойные стенки, между которыми заложена шлаковата или минеральная вата; стенки облицованы с боков и сверху пеношамотным кирпичом.

Нагреватели печи, обычно трубчатые, расположенные вне печи, рассчитываются на создание температуры в рабочей зоне до 200° С, что позволяет сушить обмотки и электродвигатели с различными видами изоляции, в том числе и с кремнийорганической.

Сушка изделий производится циркулирующим горячим воздухом. Нагнетаемый вентилятором воздух про-

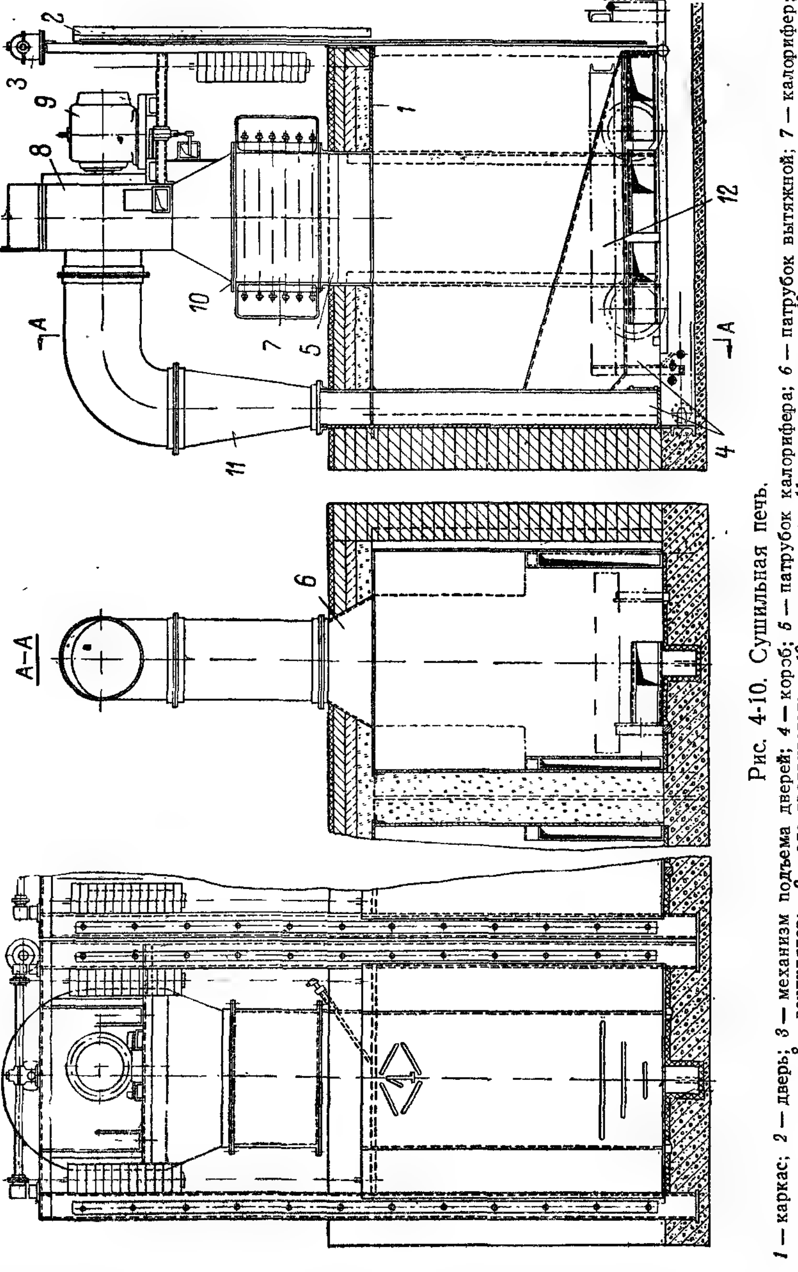


Рис. 4-10. Сушильная печь.

1 — каркас; *2* — дверь; *3* — механизм подъема дверей; *4* — короб; *5* — патрубок калорифера; *6* — патрубок вытяжной; *7* — калорифер; *8* — вентилятор; *9* — электродвигатель; *10* — прокладка; *11* — всас воздуха; *12* — тележка.

ходит через нагреватели, поступает в печь через входной патрубок (в середине печи), омывает подвергающиеся сушке изделия и по трубам, расположенным на боковых стенках печи, поступает опять в вентилятор.

Разность температур в рабочей зоне печи 5—8° С.

Для удаления паров и подсоса свежего воздуха воздухопровод имеет регулируемую задвижку.

2. *Ванны для пропитки лаком обмоток электродвигателей.* Объем и размеры ванны должны быть рассчитаны на полное погружение в нее пропитываемых электродвигателей.

Вязкость залитого в ванну лака периодически, один раз в 5—7 дней, должна проверяться. Допускаемая вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при 20° С составляет:

для лаков 447 и 458	—от 20 до 36 *сек;*
для лака БТ-99	—от 30 до 60 *сек:*
для лаков ГФ-95 и МЛ-92	—от 30 до 50 *сек.*

Также периодически должна проверяться пленка, образуемая лаком. Для проверки следует опустить в бак полоску электрокартона или бумаги, вынуть ее и дать лаку стечь. Пленка лака должна быть ровной, без просветов. Загустевший лак доливают разбавителем небольшими порциями, перемешивая. Температуры разбавителя и лака должны быть близкими.

Применение несоответствующих растворителей может повлечь за собой свертывание лаковой основы и порчу всего лака.

Пропитка обмоток лаками слагается из предварительной сушки до пропитки, собственно пропитки (двукратной) и сушки после пропитки.

Предварительная сушка имеет целью удаление влаги из волокнистой изоляции, а также подогрев обмоток для улучшения проникновения лака при последующей пропитке.

При пропитке водоэмульсионными лаками не требуется предварительной сушки обмоток.

После сушки при остывании статора до 50—70° С он погружается в ванну с лаком на 150—200 *мм* ниже уровня лака и выдерживается в нем до прекращения выделения пузырьков воздуха, что свидетельствует о полном проникновении лака в обмотку.

По окончании первой пропитки статор вынимается из ванны, устанавливается на решетку для стекания с него

излишка лака и погружается в печь для сушки. Число последовательных пропиток и сушек обычно составляет два, а для ответственных электродвигателей, работающих в тяжелых условиях эксплуатации, увеличивается до трех.

После каждой пропитки тряпкой, смоченной в растворителе, удаляется лак с тех мест, которые не должны лакироваться (выводные концы, заточки в корпусе статора и др.), а поверхность выводных концов покрывается вазелиновым маслом.

Ориентировочные режимы пропитки и сушки всыпных обмоток в зависимости от класса изоляции, марки лака и температуры сушильной печи приведены в табл. 4-5 *. Окончательные режимы отрабатываются и уточняются на опытных образцах.

Таблица 4-5

Режимы пропитки и сушки всыпных обмоток

Наименование операций	Длительность операции, *ч*			
	Лак 447		Лаки ГФ-95, МЛ-92	
	Температура печи[1]			
	110° С	130° С	110° С	130° С
Сушка предварительная (первая)	2	2	2	2
Первая пропитка	0,25	0,25	0,25	0,25
Стекание лака	0,25	0,25	0,25	0,25
Сушка после первой пропитки	10	8	12	8
Вторая пропитка	0,1	0,1	0,1	0,1
Стекание лака	0,25	0,25	0,25	0,25
Сушка после второй пропитки	11	9	14	10
Окончательная сушка после лакировки (покрытия эмалью)[2]:				
ГФ-92-ХС	—	4	—	—
ГФ-92-ГС	—	5	—	—

[1] Допускается колебание температуры от +10 до —5° С.

[2] Продолжительность операции указана при воздушной сушке при температуре 20° С. При сушке в печи при температуре 60—80° С время сушки сокращается до 2 *ч*.

Качество пропитки и сушки обмотки проверяется как внешним осмотром, так и замером сопротивления изоляции обмотки. Обмотка не должна иметь мест, не

* Время сушки исчисляется после того, как в статоре установится указанная в таблице температуре.

заполненных лаком или эмалью. Не должно быть отлипа лака или эмали.

Сопротивление изоляции обмотки замеряется мегомметром на напряжение 500 *в*. Его величина по отношению к корпусу при температуре, близкой к рабочей, должна быть не менее 1 *Мом*.

4-3. ОБМОТКИ С ГИЛЬЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Наши отечественные электромашиностроительные заводы в настоящее время выпускают электродвигатели напряжением 3; 6 *кв* и выше с непрерывной компаундированной изоляцией обмоток статора.

Этот вид изоляции почти полностью вытеснил применявшуюся ранее гильзовую изоляцию.

По сравнению с непрерывной гильзовая изоляция имеет ряд недостатков:

1) жесткость и хрупкость изоляции катушек, затрудняющие их укладку в пазы;

2) утолщения в местах переходов от пазовой к лобовой части катушек, создающие дополнительную трудность при их укладке;

3) разбухание гильз в пазах и вентиляционных каналах после небольшого времени работы электродвигателя, затрудняющие демонтаж катушек. Нужно учитывать, что при двухслойной обмотке для замены одной поврежденной катушки приходится извлекать из пазов все катушки в пределах шага. Помимо того, при разбухании гильзы внутри нее образуются воздушные включения, снижающие электрическую прочность изоляции;

4) быстрое пересыхание лакоткани в лобовых частях, что резко снижает динамическую устойчивость всей обмотки.

По указанным причинам в ряде случаев при ремонте электродвигателей с гильзовой изоляцией новые обмотки устанавливаются уже не с гильзовой, а с компаундированной изоляцией, причем обязательно заводского изготовления.

Во внезаводских условиях на месте установки электродвигателя изготовление обмоток с компаундированной изоляцией практически невозможно ввиду специфичности процесса компаундирования, требующего для своего выполнения сложного и громоздкого технологического оборудования.

При заказе компаундированных обмоток необходимо иметь в виду, что электромашиностроительные заводы, поставляющие запасные части к электродвигателям, из-за отсутствия технологической оснастки не всегда располагают возможностями своевременного изготовления запасных обмоток, особенно к электродвигателям старых, снятых с производства типов или выпуска иностранных фирм. Стоимость таких обмоток, как при всяком индивидуальном заказе, обычно очень велика ввиду разового использования оснастки.

Следует также учитывать, что перевод обмоток с гильзового на компаундированное исполнение изоляции может повлечь за собой снижение мощности электродвигателя, так как при прочих равных условиях толщина общей корпусной изоляции у гильзовых

обмоток меньше, чем у компаундированных. Известно много случаев, когда замена компаундированных обмоток гильзовыми позволила повысить мощность электродвигателя

Поэтому при необходимости в быстрой замене поврежденных обмоток изготовление их с гильзовой изоляцией может явиться если не оптимальным, то единственным практическим решением; требующиеся для этого ремонтные приспособления несложны и могут быть изготовлены на месте.

По указанным причинам вопрос ремонта обмоток с гильзовой изоляцией является достаточно актуальным.

Гильзовая изоляция носит также название смешанной или комбинированной, так как изоляции катушек в пазовой и лобовой частях отличаются друг от друга.

Общая корпусная изоляция пазовой части представляет собой плотно накатанную, опрессованную и запеченную гильзу из микафолия, слюдинитофолия или формовочного миканита, защищенную слоем электрокартона толщиной 0,1—0,2 *мм*. Толщина гильзы определяется главным образом номинальным напряжением электродвигателя. Однако при одинаковом рабочем напряжении гильзы обмоток крупных электродвигателей несколько толще, чем у маломощных электродвигателей с небольшой длиной активной стали.

Это объясняется не только стремлением обеспечить более высокую надежность ответственных дорогостоящих электродвигателей, но и повышенными механическими напряжениями, возникающими при укладке катушек с длинными гильзами.

Общая изоляция лобовых частей катушек выполняется из нескольких слоев микаленты и лакоткани. Число этих слоев зависит от номинального напряжения электродвигателя. Поверх общей изоляции на лобовую часть накладывается защитный слой хлопчатобумажной, стеклянной или асбестовой ленты.

Проводниковая и витковая изоляция катушек определяется не только номинальным напряжением, но и дополнительными требованиями в части теплостойкости обмоток. В зависимости от этих требований применяются обмоточные провода с хлопчатобумажной, эмалевой, асбестовой или стекловолокнистой изоляцией.

Витковая изоляция катушек выполняется миканитовыми или слюдинитовыми прокладками либо микалентой, накладываемой на каждый виток или через виток.

Уязвимым участком гильзовой изоляции является место стыка пазовой и лобовой частей изоляции катушек. Это ослабленное по своим изоляционным качествам место стыка находится вблизи активной стали статора и подвергается значительным деформациям как при укладке катушек, так и при электродинамических усилиях в лобовых частях обмоток, имеющих место при эксплуатации электродвигателя.

Поэтому данному узлу изоляции придается особое значение, и от качества его выполнения зависит надежность всей изоляции.

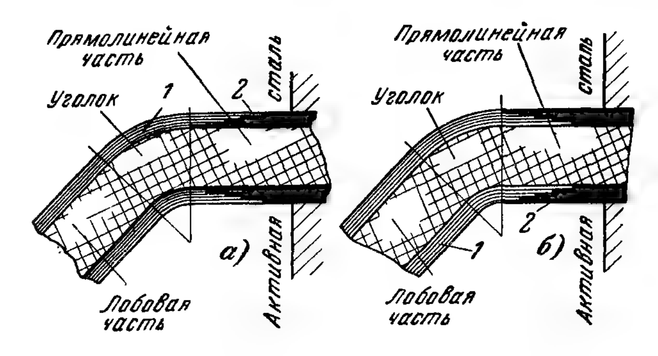


Рис. 4-11. Сопряжение изоляции пазовой и лобовой частей.

а — способ «прямого конуса»; *б* — способ «обратного конуса».

В первоначальных конструкциях место сопряжения выполнялось способом «прямого конуса», при котором гильза *2* срезается на конус и затем производится наложение слоев микаленты и лакоткани *1* уступами (рис. 4-11,*а*).

При этом исполнении даже при значительных вылетах прямолинейной части катушек от активной стали может иметь место перекрытие по поверхности срезанного конуса гильзы.

Более совершенным является применяемый в настоящее время способ сопряжения «обратным конусом» (рис. 4-11,*б*). При одинаковом расстоянии конца гильзы от активной стали путь разряда при обратном конусе примерно в 1,5 раза длиннее, чем при прямом.

Ниже рассматривается ремонт двухслойных обмоток с изготовлением катушек из нового обмоточного провода и с использованием старого провода.

Ремонт с применением нового провода

К изготовлению обмотки из нового провода прибегают в тех случаях, когда невозможно использовать старый провод с поврежденной проводниковой изоляцией или когда по условиям эксплуатации ремонтируемый электродвигатель не может быть остановлен на длительный срок. В последнем случае обмотка изготовляется заранее и электродвигатель останавливается только на время, необходимое для замены обмотки.

Полностью повторить заводское исполнение обмотки не всегда возможно, так как провода, применявшиеся в отечественных электродвигателях ранних выпусков, а также в электродвигателях, изготовленных иностранными фирмами, могут отличаться от действующих стандартов.

Следует также учитывать, что толщина гильзы, применяемая отечественными электромашиностроительными заводами, отличается от принятой некоторыми иностранными фирмами (табл. 4-6).

Таблица 4-6

Толщина гильз катушек с гильзовой изоляцией

Наименование завода-изготовителя	Двусторонняя толщина гильзы, *мм*, при номинальном напряжении	
	3—3,3 *кв*	6—6,6 *кв*
Отечественные заводы	2,5—4	5—7
Фирма АЕГ	2—4,4	3,2—5,7
Фирма МВ	5	6

Определение размеров катушки (рис. 4-12) производится по следующим формулам:

1. Длина прямолинейной части катушки

$$l_п = l_t + 2a, \ мм,$$

где l_t — полная длина пакета стали, *мм*;

a — длина вылетов прямолинейных частей катушки от стали, *мм*.

Минимально допустимые вылеты для обмоток электродвигателей напряжением:

до 500 *в* . . . . 20 *мм*
до 3 000 *в* . . . . 35 *мм*
до 6 000 *в* . . . . 50 *мм*

2. Центральный угол между прямолинейными частями катушек

$$\alpha = \frac{360 y_z}{z},$$

где y_z — шаг обмотки по пазам;

z — число пазов.

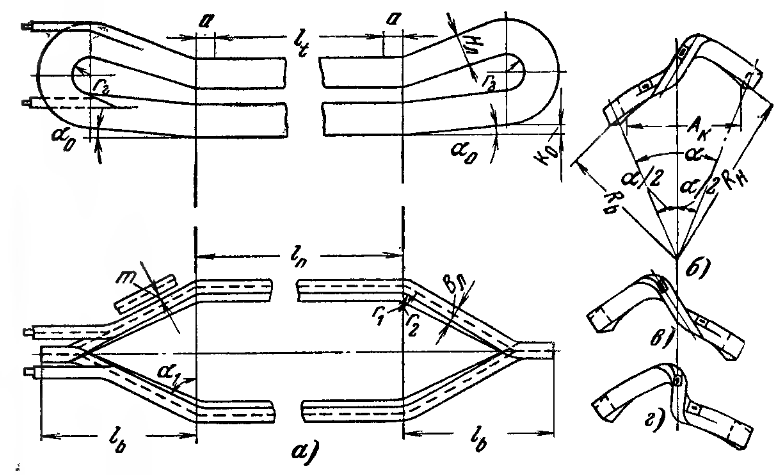


Рис. 4-12. Катушки двухслойной обмотки.

а — общий вид катушки; *б* и *в* — варианты растяжки; *г* — прямая головка.

3. Расстояние между катушечными сторонами (средняя длина дуги)

$$\tau_y = \frac{\pi (R_в + R_н)}{z} y_z, \ мм,$$

где $R_в$ — внутренний (меньший) радиус расположения в пазу верхней стороны катушки, *мм*; $R_н$ — то же нижней стороны, *мм*.

4. Угол наклона лобовой части α_1 определяется из формулы:

$$\sin \alpha_1 = \frac{B_л + m}{t_z}$$

где $B_л$ — размер катушки в лобовой части по ширине, *мм*; t_z — зубцовый шаг, *мм*; m — зазор между лобовыми частями смежных катушек после укладки в пазы, *мм*.

Минимально допустимые зазоры для обмоток электродвигателей напряжением:

до 500 *в* . . . . 4 *мм*
до 3 000 *в* . . . . 4,5 *мм*
до 6 000 *в* . . . . 5,0 *мм*

5. Длина вылета лобовой части

$$l_{в}=\left[r_2\left(\frac{1}{\sin\alpha_1}-1\right)+\frac{\tau_y}{2}\right]\operatorname{tg}\alpha_1+H_{л},\ мм,$$

где

$$r_2=r_1+\frac{B_{л}}{2}.$$

Рекомендуемая величина r_1 для катушек, не имеющих изоляции из микаленты в лобовых частях, 25 *мм*, и для катушек с изоляцией лобовых частей из микаленты 50 *мм*;

$H_{л}$ — размер катушки в лобовой части по высоте, *мм*.

6. Радиус закругления в головке $r_{г}$. Рекомендуемая величина $r_{г}=15$ *мм*.

7. Угол радиального отгиба лобовых частей α_0. Рекомендуемая величина $\alpha_0=6\div8^{0}$.

8. Отгиб лобовых частей (отгиб производится по направлению от оси электродвигателя и делается для предохранения лобовой части обмотки от повреждения при монтаже или демонтаже ротора из статора)

$$k_0=(l_{в}+H_{л}-r_2)\operatorname{tg}\alpha_0.$$

9. Минимальное расстояние между сторонами катушек (размер, необходимый при изготовлении катушки для наладки растяжного станка)

$$A_{к}=\sqrt{R_{в}^2+R_{н}^2-2R_{в}R_{н}\cos(\alpha-2\beta)},\ мм,$$

где β определяется из соотношения $\sin\beta=B_{л}/2R_{в}$.

10. Длина лобовой части

$$L_{л}=k_1\left[\tau_y\gamma-\left(r_2+\frac{h_1}{4}\right)\right]+\pi\left(r_2+\frac{h_1}{2}\right)+k_2r_2+2a,\ мм,$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты по табл. 4-7 в зависимости от угла α;

h_1 — высота паза до клина, *мм*;

$$\gamma=\frac{z\sin\frac{\pi y}{z}}{\pi y}\ \text{— для двухполюсных обмоток;}$$

$\gamma=1$ — для обмотки, имеющей $2p>2$.

Таблица 4-7

Величина k_1 и k_2 в зависимости от угла α

α	k_1	k_2	α	k_1	k_2	α	k_1	k_2
30	1,15	0,94	39	1,29	0,83	48	1,50	0,70
31	1,17	0,93	40	1,31	0,82	49	1,52	0,68
32	1,18	0,92	41	1,33	0,80	50	1,56	0,67
33	1,19	0,91	42	1,35	0,79	51	1,59	0,65
34	1,21	0,90	43	1,37	0,77	52	1,62	0,63
35	1,22	0,89	44	1,39	0,75	53	1,66	0,62
36	1,24	0,87	45	1,41	0,74	54	1,70	0,61
37	1,25	0,85	46	1,44	0,73	55	1,74	0,59
38	1,27	0,84	47	1,47	0,71			

Средняя длина витка катушки.

$$L_{ср}=2(l_{п}+L_{л}),\ мм.$$

Технологический процесс изготовления двухслойных катушек с гильзовой изоляцией слагается из следующих операций:

Намотка заготовки (лодочки). Лодочка является заготовкой, из которой при дальнейших операциях формуется и полностью изготовляется катушка.

Лодочка наматывается на плоский шаблон, а для придания ей необходимой пространственной формы катушки, уложенной в пазы, она соответственным образом выгибается. Размеры шаблона определяются размерами катушки. Намотка лодочек производится на намоточных станках, описание которых было приведено ранее.

Чтобы обеспечить правильную форму и компактность лодочки, провод, из которого она наматывается, должен все время находиться в натянутом состоянии. Для этого провод предварительно наматывается правильными рядами на барабан, имеющий тормозное устройство. Кроме того, для предотвращения скручи-

вания провод пропускают через «глазок», представляющий собой текстолитовую пластинку толщиной 10—15 *мм,* в которой точно по размеру провода вырезано отверстие (устанавливается между барабаном и шаблоном).

При намотке провода на шаблон каждый виток его подбивается по форме шаблона, чем достигается плотность всей лодочки.

Если по конструктивному исполнению катушки предусмотрена дополнительная изоляция провода микалентой, следует провод заранее пропитать масляно-битумным лаком 447. Часто эта дополнительная изоляция предусматривается только в лобовых частях. В этих случаях необходимо ее располагать по высоте столбика ступенькой со сдвигом в 10—20 *мм,* чтобы избежать значительных местных утолщений изоляции.

Дополнительная изоляция может предусматриваться также в виде миканитовых или слюдинитовых прокладок.

Во избежание повреждения этих прокладок при дальнейших операциях вместо них закладываются временные прокладки из электрокартона такой же толщины.

В процессе намотки необходимо следить за целостностью проводниковой и дополнительной микалентной изоляции, а также за правильностью перекроя микалентной изоляции.

При намотке лодочки выводные концы предусматриваются с припусками, выступающими за ее контур на 120—150 *мм.* Лодочка плотно связывается в нескольких местах лентой или шпагатом, выводные концы очищаются от изоляции и лодочка снимается с шаблона. Лодочка бандажируется стеклянной или хлопчатобумажной лентой по всему контуру. Лента накладывается в лобовой части в один слой вполнахлеста, а в пазовой части — вразбежку. В процессе бандажировки лодочка сжимается по высоте струбцинами, а по ходу бандажировки с нее снимаются завязки, которыми она была скреплена перед снятием с шаблона.

Растяжка лодочки. Операция по растяжке лодочки имеет целью придать ей форму, близкую к катушке.

Следует выбрать один из двух вариантов направления растяжки, приведенных на рис. 4-12, где изображен вид на катушку со стороны схемы.

Если для ремонтируемой машины изготовляется не полный комплект, а только часть катушек, то вариант их растяжки, безусловно, должен совпадать с направлением растяжки остальных, незаменяемых катушек.

При изготовлении всего комплекта катушек вариант растяжки может быть любым.

Исходя из указанных соображений, следует выбрать и форму головки (петли) катушки. Эти головки могут быть скошенными (рис. 4-12,*б* и *в*), когда ось головки расположена под некоторым углом к вертикальной оси катушки, или прямыми — при совпадении осей головки и катушки (рис. 4-12,*г*).

Растяжка лодочек производится на специальном станке (рис. 4-13). Лодочка, заложенная в станок, растягивается вращением плеча *6* вокруг своей оси. При растяжке головкодержатели *4* сближаются. Передвижные стопорные кольца *7* закрепляются таким образом, чтобы ограничить движение головкодержателей *4,* когда размеры $A_к$ и α растянутой лодочки достигнут требуемых величин.

После растяжки лодочка снимается со станка, проверяется целостность изоляции и отсутствие смещенных витков, а также параллельность их расположения. Все обнаруженные дефекты устраняются таким образом, чтобы не нарушить форму лодочки.

Однако растянутая лодочка не имеет еще окончательной формы катушки: лобовые части находятся в одной плоскости с пазовыми частями и не имеют нужных очертаний. Для придания ей законченной формы применяется рихтовочный шаблон, с помощью которого лобовые части отгибаются в радиальном направлении и изгибаются по требуемой кривизне.

Этот шаблон (рис. 4-14), изготовляемый из дерева твердых пород, должен с максимальной точностью соответствовать окончательной форме катушки.

Для формовки (рихтовки) лодочка закладывается в шаблон и прямолинейные части ее зажимаются накладками. При закладке проверяется и при надобности корректируется угол разворота прямолинейных частей катушек. Эта корректировка производится деревянными ключами в виде «вилок», которые накладываются на прямолинейную часть лодочки.

Подбивка лобовых частей для придания им нужной формы производится деревянными молотками — киян-

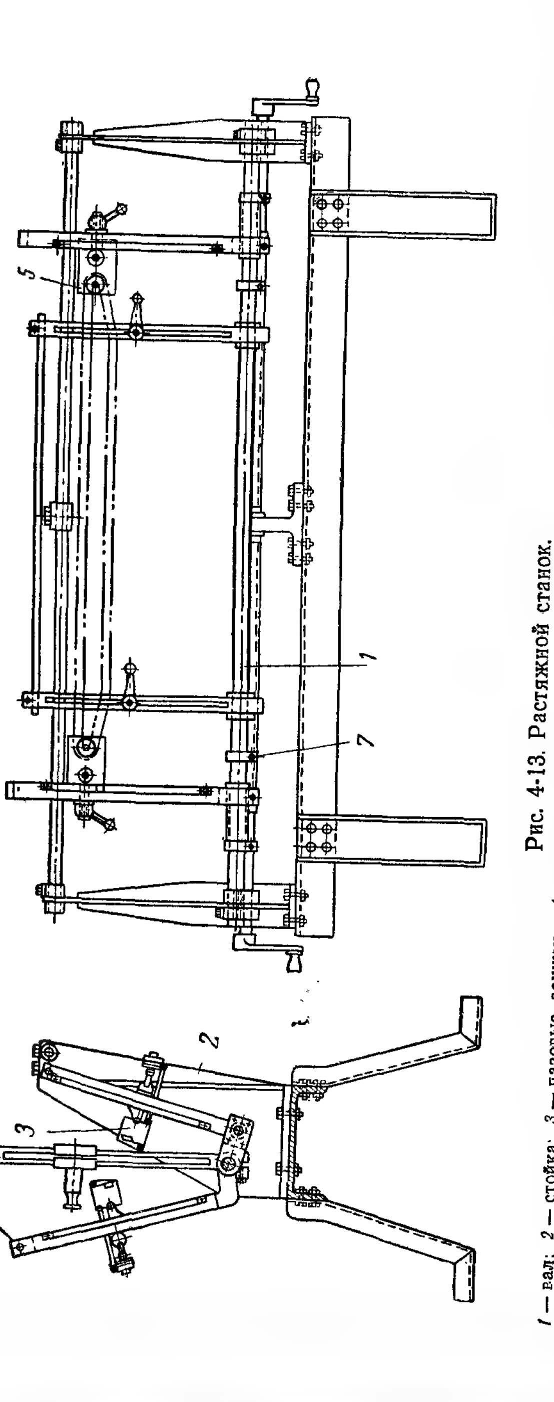


Рис. 4-13. Растяжной станок.

1 — вал; 2 — стойка; 3 — пазовые зажимы; 4 — головкодержатель; 5 — головка станка; 6 — поворотное плечо; 7 — стопорное кольцо.

ками через фибровые или деревянные прокладки, предохраняющие изоляцию лобовых частей от повреждений[1].

Замена временных прокладок. После рихтовки с катушки снимается стягивающая ее лента и все временные прокладки между витками заменяются постоянными. Эти прокладки должны быть шире провода, высту-

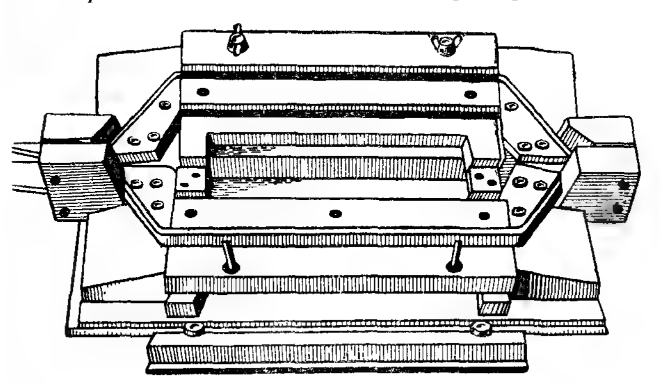


Рис. 4-14. Рихтовочный шаблон.

пать на 0,3—0,5 *мм* с каждой стороны провода. В случаях, когда в лобовых частях применена микалента в качестве дополнительной изоляции, указанные прокладки должны перекрывать микалентную изоляцию.

После установки прокладок на катушку следует вновь наложить бандаж из хлопчатобумажной или стеклянной ленты, накладываемой вразбежку. Для придания большей плотности при бандажировке столбик сжимается струбцинами.

Если пайка обмотки предусмотрена оловянистым припоем, следует снять изоляцию с концов катушек и полудить их на длине 100 *мм*. Как правило, для полуды применяется припой ПОС-30, а в качестве флюса — канифоль. При полуде не допускаются наплывы припоя, так как это затрудняет закладку концов катушек в соединительные хомутики. Наиболее эффективный способ полуды концов — погружение их в ванночку с расплавленным припоем.

---

[1] На электромашиностроительных заводах наряду с указанными применяются **формующие станки. В ремонтной практике эти станки не применяются из-за их сложности.**

Для обмоток, пайка которых предусмотрена серебряным, медно-фосфористым или другим тугоплавким припоем, полуда концов не производится, следует ограничиться только зачисткой концов катушек от изоляции.

Сушка и пропитка неизолированных катушек. Сушке и пропитке должны подвергаться катушки вне зависимости от марки провода и электроизоляционных материалов.

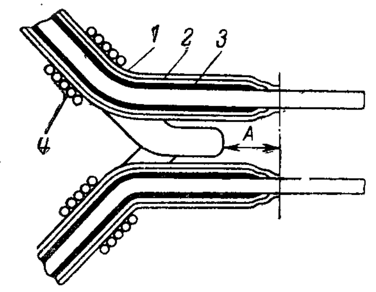


Рис. 4-15. Изоляция выводных концов.

1 — хлопчатобумажная или стеклянная лента; *2* — лакотканевая лента; *3* — микалента; *4* — шпагатный бандаж.

Перед пропиткой катушки предварительно просушиваются в печи при температуре 105—110° С в течение 4—8 *ч* (в зависимости от ее размеров). Для лучшего обдувания теплым воздухом катушки размещаются в печи в вертикальном положении с зазором между соседними катушками 10—15 *мм*.

Пропитка лаком производится путем погружения катушек, нагретых до температуры 60° С, на 15—20 *мм* в ванну с лаком. По окончании пропитки, признаком чего служит прекращение выделения пузырьков воздуха из лака, катушки вынимаются из ванны и подвешиваются над ней за головки для стекания лака. Через 15—20 *мин* катушки подвешивают за противоположные головки и выдерживают в таком положении также 15—20 *мин*.

Пропитанные катушки сушат в печи при температуре 105—110° С в течение 8—10 *ч*.

По окончании сушки катушки вынимают из печи, проверяют изоляцию на отсутствие повреждений в процессе загрузки и выгрузки катушек из печи и тряпкой, смоченной в бензине, смывают лак с выводных концов.

Изолировка выводных концов. Исполнение изоляции выводных концов приведено на рис. 4-15 и в табл. 4-8.

Изоляция выводного конца начинается с середины плеча лобовой части и доводится до полуженных участков выводных концов. Располагается изоляция уступами со сдвигом слоев в 10 *мм*. Поверх слоев мика-

ленты и лакоткани накладывается защитный слой тафтяной ленты или стеклоленты (в один слой вполнахлеста), пропитанных лаком 447. Изолированные выводные концы в месте их отгиба закрепляются бандажом из 10—12 витков шпагата диаметром 1,5—2,0 *мм*.

Таблица 4-8

Исполнение изоляции выводных концов

Напряжение электродвигателя, *в*	Расстояние *А*, *мм*	Число слоев изоляции		
		Микалента	Лакотканевая лента	Хлопчатобумажная или стеклянная лента
500	10	—	1	1
3 000	10	1	1	1
6 000	15	2	2	1

Опрессовка неизолированных катушек. Опрессовка прямолинейной части неизолированных катушек (опрессовка столбиков), производимая одновременно с их насовка столбиков), производимая одновременно с их нагреванием, имеет целью уплотнить между собой отдельные провода и изоляцию, а также придать столбику монолитность и обеспечить требуемые размеры столбика.

Опрессовка и выпечка производятся в пресс-формах. На рис. 4-16 приведена конструкция пресс-формы с электрическим подогревом и воздушным охлаждением, получившая наибольшее распространение в ремонтной практике, при малом количестве изготовляемых катушек.

Опрессовка и выпечка столбика, а также микафолиевой гильзы производятся в пространстве, ограниченном двумя боковыми планками *7* и двумя вкладышами *9* или *10*. Вкладыши *9* предназначены для опрессовки столбика, а вкладыши *10* — для опрессовки и выпечки гильзы. Размеры этих деталей в зависимости от размеров столбика и гильзы приведены на рис. 4-16.

Создание необходимого давления (25—30 *кГ/см²*) производится завинчиванием болтов струбцин. Эти струбцины, изготовляемые обычно из стали размером 50×50 *мм* или 60×60 *мм* и снабженные болтами М36, располагаются через 200—250 *мм* по длине пресс-формы. Каждая струбцина состоит из двух угольников.

Один из них неподвижный *2*, закрепляется на швеллере, другой съемный *1*.

Для закладки катушки в пресс-форму следует вынуть из гнезд штыри *4*, удалить угольник *1*, нажимную планку *8*, боковую планку *7*, примыкающую к болту *3*, и верхний вкладыш *9*.

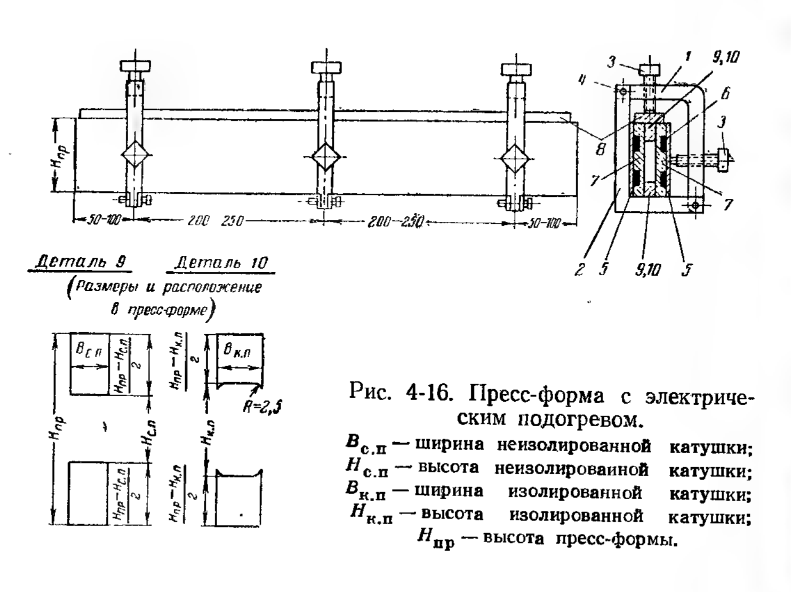


Рис. 4-16. Пресс-форма с электрическим подогревом.
$B_{с.п}$ — ширина неизолированной катушки; $H_{с.п}$ — высота неизолированной катушки; $B_{к.п}$ — ширина изолированной катушки; $H_{к.п}$ — высота изолированной катушки; $H_{пр}$ — высота пресс-формы.

После закладки катушки снятые части пресс-формы в обратной последовательности устанавливаются на свои места.

Нагрев пресс-форм осуществляется нагревательными элементами *6*, закладываемыми в боковые планки *7*. Нагреватель представляет собою пластину из прокладочного миканита толщиной 1—1,5 *мм* или стальную пластину, обернутую асбестовой бумагой или асбестовой лентой, на которую спирально накладывается проволока из нихрома или фехраля круглого или прямоугольного сечения. Для изолировки нагревателя от корпуса пресс-формы поверх проволоки также накладывается асбестовая бумага или лента. Нагреватель защищается крышкой *5*.

Напряжение для питания пресс-форм U исходя из условий безопасности работы на пресс-формах не должно превышать 40 *в*.

Мощность, необходимая для нагревания пресс-формы, $P=(50\div70)L$, *вт*, где L — длина пресс-формы, *см* (большие значения для длинных и массивных пресс-форм).

Ток в нагревателе равен: $I=P/U$, *а*, где P — мощность нагревателя, *вт*.

Размеры проволоки составляют:

а) для круглой проволоки $d=0{,}25\sqrt[3]{I^2}$, *мм*;

б) для проволоки прямоугольного сечения

$$b=\frac{0{,}15I}{\sqrt{a}},\ мм,$$

где b — ширина проволоки, *мм*;
a — толщина проволоки, *мм*.

Длина и вес проволоки определяются:

$$l=0{,}9q\frac{U}{I},\ м;$$

$$G=8lq\cdot10^{-3},\ кг.$$

где q — сечение проволоки.

При опрессовке столбика прямолинейная часть катушки обертывается двумя слоями телефонной бумаги, припудренной тальком, катушка укладывается в пресс-форму, слегка затягиваются болты *3* струбцин и пресс-форма разогревается до 75—80° С при применении для катушек провода марки ПБД, до 100—110° С — при применении проводов марок ПСД и ПДА.

В процессе разогрева производят постепенную затяжку болтов струбцин, не прилагая при этом значительных усилий.

Начинают затяжку с середины и продолжают в обе стороны к концам пресс-формы. При достижении указанных выше температур болты окончательно подтягиваются так, чтобы нажимная планка *8* вплотную легла на боковые планки *7*, а последние были бы плотно прижаты к внутренним вкладышам *9*.

При изготовлении большого количества катушек или сжатых сроках ремонта ускорение процесса может быть достигнуто не только параллельной работой на нескольких пресс-формах, но и применением пресс-форм с паровым подогревом и водяным охлаждением. Подогрев осуществляется путем пропускания пара по каналам в боковинах пресс-форм. По окончании опрессовки и выпечки гильзы по этим же каналам пропускается вода, охлаждающая пресс-форму.

Вместо винтовых струбцин для обжатия пресс-форм могут применяться пневматические или гидравлические прессы.

Помимо значительного облегчения и ускорения работы применение гидравлических или пневматических прессов обеспечивает возможность тарировать величину передаваемого на пресс-формы давления, что практически невозможно при пользовании болтовыми струбцинами. Между тем как чрезмерное, так и недостаточное давление при опрессовке катушек недопустимо. При перепрессовке возможно не только ослабление, но и повреждение изоляции. При недопрессовке катушки получаются недостаточно монолитными, могут содержать воздушные включения и излишки лака, что резко снижает их электрические и механические качества.

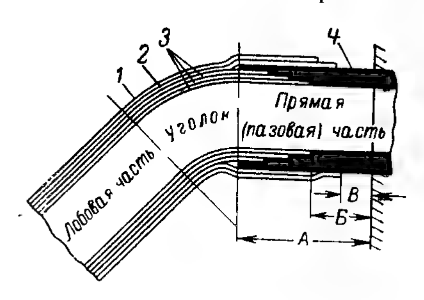


Рис. 4-17. Изоляция уголков.
1 — хлопчатобумажная или стеклянная лента; 2 — лакотканевая лента; 3 — микалента; 4 — микафолиевая гильза.

Изолировка уголков. Исполнение изоляции уголков приведено на рис. 4-17 и в табл. 4-9.

Таблица 4-9

Исполнение изоляции уголков

Рабочее напряжение, *в*	Размеры, *мм*			Число слоев изоляции		
	А	Б	В	Микалента	Лакотканевая лента	Хлопчатобумажная или стеклолента
500	20	10	10	1	1	1
3 000	40	15	10	3	1	1
6 000	65	25	15	5	2	1

Наложение изоляции начинается с середины плеча лобовой части катушки с заходом на прямолинейную часть. Располагается изоляция уступами, со сдвигом слоев между собой 10 *мм* для образования конуса.

Поверх слоев микаленты и лакоткани накладывается временная хлопчатобумажная лента или стеклолента в один слой вполнахлеста. При укладке каждого слоя изоляции уголков необходимо добиваться максимальной плотности ее наложения.

Накатка, опрессовка и выпечка гильз. Помещение, где производятся наложение и выпечка гильзовой изоляции, должно содержаться в чистоте. Загрязнение изоляции пылью, особенно металлической и токопроводящей, приводит к снижению качества и браку выпеченных гильз.

Опрессовка и выпечка пазовой изоляции катушек производятся теми же пресс-формами (рис. 4-16), которыми опессовывались неизолированные катушки, но вкладыши пресс-форм *9* заменяются вкладышами *10*.

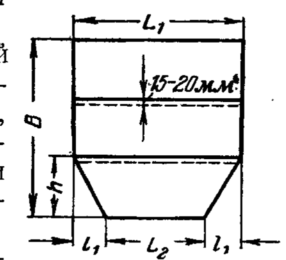


Рис. 4-18. Заготовка для гильз.

Материалом для пазовой изоляции (гильзы) электродвигателей напряжением 6 *кв* преимущественно служит микафолий марки ММГ (микафолий, изготовленный из слюды мусковит на глифталевом лаке) или ММШ (из слюды мусковит, но на шеллачном лаке). Для электродвигателей напряжением ниже 6 *кв* применяется микафолий, изготовленный из флогопита марки МФГ или МФШ, имеющий меньшую электрическую прочность, но обладающий лучшей способностью к формовке, чем микафолий, изготовленный на мусковите.

Для склейки между собой слоев гильзы из микафолия марок ММГ и МФГ применяется глифталевый лак 1155, а для микафолия марок ММШ и МФШ — шеллачный лак 30%-ной концентрации.

Из микафолия, поступающего обычно в рулонах, нарезаются заготовки. Для катушек, у которых сопряжение пазовой и лобовой частей изоляции выполняется обратным конусом, форма заготовок приведена на рис. 4-18.

Размеры заготовки:

L_2 — расстояние между концами первого внутреннего слоя микаленты изоляции уголков, *мм*;

L_1 — длина гильзы, *мм*;

l_1 — длина конуса, *мм*, равная $\frac{L_1 - L_2}{2}$;

B — ширина заготовки, *мм*, равная

$$2{,}5(H_{с.п}+B_{с.п}+2i_г)\frac{i_г}{\delta_1},$$

где $H_{с.п}$ и $B_{с.п}$ — размеры неизолированной катушки по высоте и ширине, *мм*;
$i_г$ — толщина гильзы, *мм*;
δ_1 — толщина микафолия, *мм*;

$$h=4n_г\frac{\delta_2}{\delta_1}(H_{с.п}+B_{с.п}+2i_г),$$

где $n_г$ — число слоев микаленты под гильзой;
δ_2 — толщина микаленты, *мм*.

Когда ширина рулона меньше ширины заготовки, стыкуют между собой несколько полос. Стыковка производится с перекроем в 15—20 *мм*.

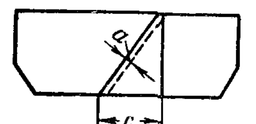


Рис. 4-19. Стыковка листов микафолия по длине.

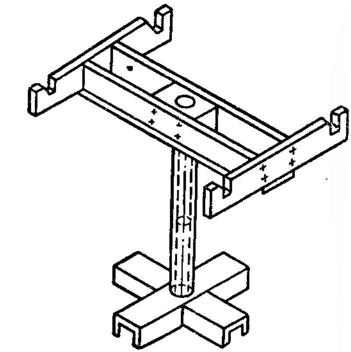


Рис. 4-20. Подставка для накатки гильз.

При изготовлении гильз из листового микафолия, когда размеры листа меньше размера L_1, также приходится стыковать листы между собой. Во избежание большого местного утолщения в месте стыковки сопряжение листов выполняется под углом, как это указано на рис. 4-19. Величина перекроя a равна 15—20 *мм*, а размер c равен $25n$, где n — число слоев микафолия в гильзе, равное $1{,}25\ \frac{i_г}{\delta_1}$.

Место перекроя листов склеивается в зависимости от вида микафолия шеллачным или глифталевым лаком.

Для накатки гильзы катушка устанавливается на подставку (рис. 4-20), а при небольших размерах гильзы закрепляется в слесарных тисках (рис. 4-21).

Перед накаткой для придания микафолию необходимой гибкости его следует подогреть до температуры 70—80° С и промазать лаком, соответствующим марке микафолия. Количество этого лака зависит от содержания клеящих в микафолии. При большом количестве клеящих («жирный» микафолий) промазку можно не делать. При малом количестве клеящих («сухой» микафолий) промазку следует производить тонким слоем по всей поверхности.

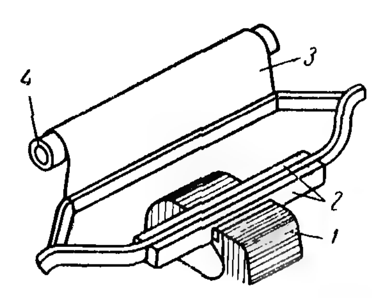


Рис. 4-21. Закрепление катушки в тисках.

1 — слесарные тиски; *2* — планки; *3* — лист микафолия; *4* — нагретая труба.

При сопряжении изоляции «обратным конусом» на всю длину «конуса» прокладывают предохранительную полоску из одного слоя телефонной бумаги, выпуская ее за пределы гильзы на 15—20 *мм*. Эта прокладка предохраняет от затекания лака под слои микаленты в процессе опрессовки гильзы. По окончании выпечки выступающая часть прокладки срезается.

Накатка микафолия производится с помощью оправки — трубы диаметром 50—60 *мм* и длиной на 10—15 *мм* больше, чем длина заготовки.

Разогретая заготовка микафолия плотно накатывается на подогретую трубу. Свободный конец заготовки накладывается на изолируемую катушку таким образом, чтобы края заготовки с обеих сторон вплотную подходили к первому слою микаленты изоляции угол*ков, и плотно обертывается вокруг прямолинейной* части катушки.

Обертывание производится при равномерном натягивании микафолия трубой. Наложенный слой проглаживают тряпкой, после чего накладывают и приглаживают следующие слои. Для лучшей накатки можно применить проглаживание электрическим утюгом, разогретым до 100—120° С.

При намотке микафолия нельзя допускать перекосов заготовки микафолия.

Каждая следующая заготовка подкладывается под край предыдущей на 15—20 *мм*.

После наложения всех слоев производится обкатка наложенного микафолия с целью максимального уплотнения слоев изоляции. Эту обкатку производят в рукавицах, плотно прижимая и проворачивая микафолий в направлении его наложения.

Более совершенным является способ обкатки на специальных обкаточных станках.

Поверх микафолия на гильзу накладываются слои электрокартона толщиной 0,1 *мм* с перекрытием на узкой стороне. Первый слой электрокартона покрывается тем же лаком, на котором изготовлен микафолий. Второй слой электрокартона не лакируется, так как является временным и после выпечки гильзы снимается.

После наложения электрокартона гильза туго затягивается киперной лентой вразбежку и поступает на выпечку.

Катушка укладывается в пресс-форму (рис. 4-16), затягиваются болты *3* струбцин и пресс-форма разогревается до 110—120° С при шеллачном и до 140—150° С при глифталевом микафолии.

Процессы выпечки столбика и гильзы аналогичны, но при выпечке гильзы следует болты струбцин завинчивать до такой степени, когда планка *7* будет плотно прижата к вкладышам *10*.

После окончательной затяжки болтов температура подогрева пресс-планок увеличивается до 140—150° С при шеллачном и до 170—180° С при глифталевом микафолии. При указанной температуре изоляция выпекается в течение 30—60 *мин*. Точное время, необходимое для выпечки, устанавливается на опытных образцах отдельно для каждой партии микафолия. При отработке режима выпечки может быть несколько изменена также и температура выпечки. При выпечке опытных образцов проверяется и корректируется число слоев микафолия, необходимых для получения гильзы требуемой толщины. При расчете числа слоев принята усадка толщины микафолия при опрессовке 25%. В зависимости от «жирности» микафолия степень усадки, а следовательно, число слоев гильзы изменяются.

Одним из признаков окончания выпечки изоляции является прекращение выделения лака с торцов гильзы.

По окончании выпечки нагреватели отключаются от сети и пресс-форма охлаждается.

Для ускорения охлаждения пресс-формы рекомендуется обдувать ее вентилятором или сжатым воздухом.

При охлаждении пресс-форм до 30—35° С катушка вынимается из пресс-формы, снимается временный (неприклеенный) слой электрокартона, гильза очищается от наплывов лака и проверяются ее размеры по высоте и ширине с помощью штангенциркуля или предельными шаблонами.

Выпеченная гильза должна быть достаточно плотной. При простукивании гильзы не должно быть глухих звуков, свидетельствующих о недостаточной монолитности гильзы или неполном прилегании ее к столбику меди. Выпеченная гильза не должна иметь продольных вмятин и складок длиной больше 100—120 *мм*. Складки по концам гильзы и складки с лопнувшими слоями, а также закусы на углах гильзы не допускаются.

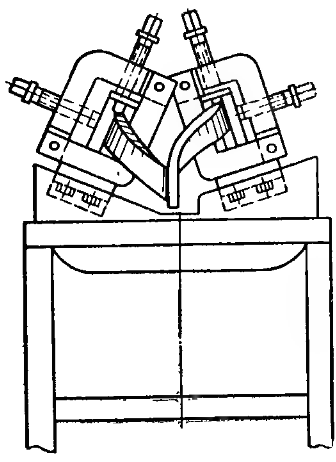


Рис. 4-22. Расположение пресс-форм при одновременной выпечке гильз двух сторон катушки.

При длительном хранении в надлежащих условиях гильза не должна распухать, расслаиваться или отставать от меди.

Перечисленные дефекты являются следствием неудовлетворительной накатки, недостаточной опрессовки или неправильного режима выпечки изоляции.

Указанным выше способом выпекается каждая в отдельности сторона катушки. Для ускорения рекомендуется изготовить два комплекта пресс-форм и производить выпечку гильз одновременно на двух сторонах катушки.

Чтобы не деформировать катушку, пресс-формы следует располагать соответственно центральному углу между прямолинейными сторонами катушек (рис. 4-22).

При небольшом расстоянии между сторонами катушек может оказаться невозможным или затруднительным расположение струбцин друг против друга. В этом случае они располагаются в шахматном порядке.

Для катушек с большим соотношением высоты и ширины гильзы (больше 6 : 1) для получения надежной гильзы приходится предварительно накатывать и выпекать на столбике два-три слоя микафолия, а затем поверх этих слоев накатывать и выпекать остальные слои микафолия.

Эта предварительная выпечка значительно увеличивает жесткость и плотность катушки и тем самым обеспечивает лучшую накатку и выпечку остальных слоев.

При толщине гильзы более 3 *мм* рекомендуется накатку и выпечку ее производить в два приема: накатать и выпечь 60—70% от требуемой толщины гильзы, а затем остальные 40—30%.

Изолировка лобовых частей. Перед изолировкой лобовой части следует зачистить от наплывов лака ранее наложенную изоляцию уголка в месте сопряжения ее с изоляцией лобовой части и снять временный защитный слой хлопчатобумажной ленты. Укладку слоев изоляции следует начинать от середины одного плеча к петле и далее к другому плечу до конуса на середине этого плеча. При «сухой» микаленте накладываемые слои слегка промазываются клеящим лаком БТ-95.

Последний слой лакоткани, а также защитный верхний слой пропитанной лаком хлопчатобумажной ленты или стеклоленты накладывается на гильзу с заходом на нее на 20—30 *мм*.

При наложении изоляции следует стремиться к максимально плотной затяжке каждого слоя, так как эта изоляция не прессуется и неплотность ее наложения ухудшает электроизоляционные качества обмотки.

Проверка и рихтовка лобовых частей. Для полной уверенности в правильности геометрических размеров лобовых частей катушек, а также для возможности устранения некоторых незначительных отклонений от требуемой формы изготовляется специальный макет, копирующий часть статора, в который укладываются изготовленные катушки (рис. 4-23). Положение катушек в макете соответствует их положению в пазах статора, и, добившись правильной укладки катушек в макет, можно быть совершенно уверенным, что укладка катушек в пазы статора не встретит каких-либо серьезных затруднений.

Лобовые части уложенных катушек выправляют до получения одинакового расстояния между головками, лобовыми дугами и одинакового отгиба лобовых частей в радиальном направлении.

Лакировка и сушка изоляции. Завершающей операцией изготовления катушек является лакировка и последующая сушка лобовых частей.

Лакировка производится двукратно покровным лаком 458 воздушной сушки. По возможности лакировку следует производить путем пульверизации. После первой лакировки лобовых частей катушки укладывают на стеллажи или подкладки таким образом, чтобы лобовые части со всех сторон обдувались воздухом. Подсушивают их в течение 2—4 *ч*. Затем вторично покрывают лобовые части лаком и сушат в течение 6—8 *ч* до полного прекращения отлипа лаковой пленки.

Рис. 4-23. Макет статора.

1 — передняя стенка; *2* — задняя стенка; *3* — промежуточная стенка; *4* — скрепляющая планка; *5* — пазы для укладки нижних сторон катушек (количество пазов $y_п$); *6* — пазы для укладки верхних сторон катушек (количество пазов $y_п+4$), где $y_п$ — шаг обмотки.

Испытание катушек. Изоляция изготовленных катушек должна быть испытана повышенным напряжением.

Изоляция гильз испытывается переменным током частотой 50 *гц* в течение 1 *мин* напряжением:

Таблица 4-10

Испытательное напряжение витковой изоляции катушек

Вид витковой изоляции	Испытательное напряжение на виток, *в*
Провода марки ПБД, ПСД, ПДА, ПЭТВ, ПЭВШП	200
То же и прокладки из электрокартона	300
То же, но прокладки из миканита или слюдинита	500
Провода марок ПБД, ПСД, ПДА, ПЭТВ, ПЭВШП, дополнительно изолированные хлопчатобумажной или стеклянной лентой в один слой вполнахлеста	800
То же, но изолированные микалентой в один слой вполнахлеста	1 400

13,5 *кв* — для обмоток напряжением 3 *кв* при толщине гильзы 1,25—2 *мм*;

22,5 *кв* — для обмоток напряжением 6 *кв* при толщине гильзы 2,5 — 3,5 *мм*.

Витковая изоляция испытывается переменным током повышенной частоты (частота не нормируется). Величина испытательного напряжения в зависимости от вида изоляции указана в табл. 4-10. Время приложения напряжения 15 *сек*.

Ремонт с использованием старого провода

Возможность использования старого провода при ремонте катушек, имеющих в заводском исполнении гильзовую изоляцию, определяется после составления

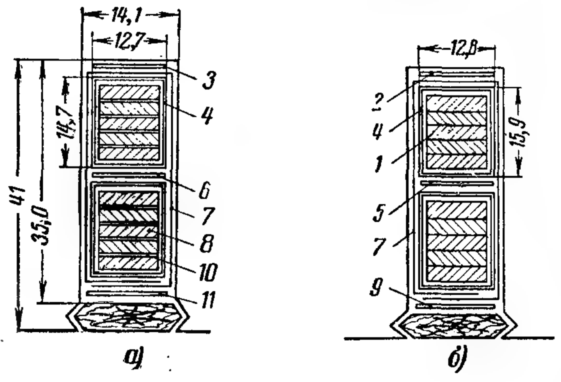


Рис. 4-24. Заполнение паза до и после ремонта.

1 — провод голый размером 1,68×7,4 *мм* (изолирован одним слоем микаленты толщниой 0,13 *мм*); *2, 9* — электрокартон толщиной 0,5 *мм*; *3, 11* — электрокартон толщиной 1 *мм*; *4* — гильза толщиной 2,45 *мм*; *5* — электрокартон толщиной 1,5 *мм*; *6* — электрокартон толщиной 2,5 *мм*; *7* — электрокартон толщиной 0,2 *мм*; *8* — провод ПСД размерами $\frac{1,68 \times 7,4}{1,95 \times 7,67}$ *мм*; *10* — электрокартон толщиной 0,15 *мм*.

эскиза новой изоляции, составления расчетов размеров катушки и заполнения паза.

Только в том случае, если размеры переизолированной катушки равны или мало отличаются от размеров в заводском изготовлении, можно использовать при ремонте старый провод.

На рис. 4-24 даны эскизы заполнения паза обмотки электродвигателя мощностью 240 *квт* напряжением 6,3 *кв* со скоростью вращения 735 *об/мин* фирмы «Сименс» как в заводском исполнении (рис. 4-24,*а*), так и при ремонте (рис. 4-24,*б*), из которых видно, что размеры катушки по ширине до и после ремонта практически совпадают.

Незначительное увеличение высоты катушки компенсируется уменьшением толщины прокладок на дне паза, между сторонами катушек и под пазовым клином.

Перед выемкой катушек их следует разметить соответственно номерам пазов. Выводные концы катушек должны распаиваться, а не обрубаться или перекусываться кусачками. В этом случае при укладке переизолированных катушек в те же пазы не возникнет трудностей при соединении катушек как между собой, так и с шинами внутримашинных соединений.

Катушка должна извлекаться из пазов и очищаться от старой изоляции с осторожностью, чтобы не деформировалась сама катушка. Снятие гильзовой изоляции и общей изоляции лобовых частей производят острым монтерским ножом. Для облегчения снятия этой изоляции рекомендуется подогреть катушку до 70—80° С.

Для очистки от витковой изоляции катушки помещают в бак с кипящей водой, выдерживают в баке до полного размягчения изоляции, а затем вынимают из бака и охлаждают до 40—50° С, после чего с помощью ножей с них снимают изоляцию. Если кипячение в воде окажется недостаточным, то катушки кипятят в 10%-ном растворе каустической соды и выдерживают в баке до разложения клеящего состава и распадения самой изоляции.

Вынутые из раствора катушки необходимо тщательно промыть теплой водой и удалить остатки старой изоляции. Работу следует производить обязательно в перчатках.

После снятия старой изоляции провод протирается сухими тряпками и проверяется на отсутствие забоин и трещин. Все обнаруженные дефекты должны быть устранены: забоины и заусенцы опилены, а трещины заварены серебряным припоем марки ПСР-45.

Для изолировки витков катушки растягиваются и помещаются на «этажерку» (рис. 4-25).

При переизолировке медь слегка промазывается лаком БТ-95.

Дальнейшие операции по изготовлению катушек: опрессовка столбиков, накатка и выпечка гильз, изолировка уголков и т. п. — происходят в той же последовательности и по тому же технологическому режиму, как это описывалось выше для изготовления катушек из нового обмоточного провода.

Укладка катушек

Перед началом укладки обмотки должен быть составлен эскиз и расчет заполнения паза. Исходя из этого эскиза, следует заготовить прокладки, коробочки и другие детали, необходимые при монтаже обмоток.

Катушки, поступившие от завода-изготовителя или изготовленные на месте ремонта, после их приемки и испытания должны быть прокалиброваны и скомплектованы. Процесс калибровки заключается в том, что все катушки разбиваются на три группы: с номинальными, пониженными и повышенными размерами (в пределах допусков, оговоренных при заказе обмоток).

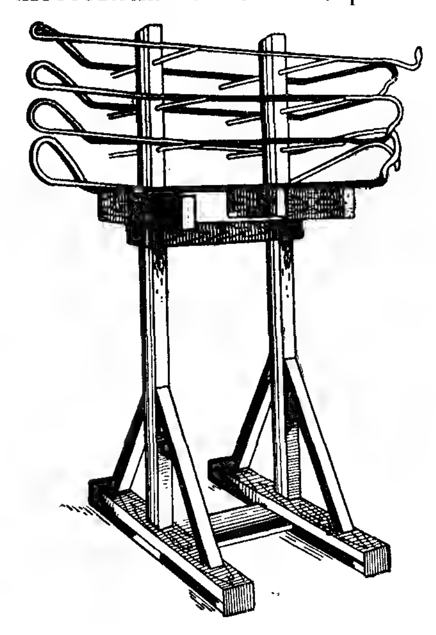


Рис. 4-25. Этажерка для ручной изоляции витков.

Калибровка катушек преследует цель подобрать их таким образом, чтобы в паз укладывались либо катушки с номинальными размерами, либо одна катушка с пониженным, а другая с повышенным размером по высоте.

Пазовые части катушек, как правило, имеют наружный защитный слой электрокартона. Перед укладкой катушек в пазы для облегчения укладки этот защитный слой протирают парафином.

Начинать укладку следует немного отступя от нижней части расточки с тем, чтобы укладка последних замковых катушек пришлась на нижнюю часть расточки.

Сначала в паз укладывается нижняя (лежащая на дне паза) сторона катушки и, когда она дойдет до половины паза, укладывается ее верхняя сторона на расстоянии шага обмотки. Укладывание этой стороны произво-

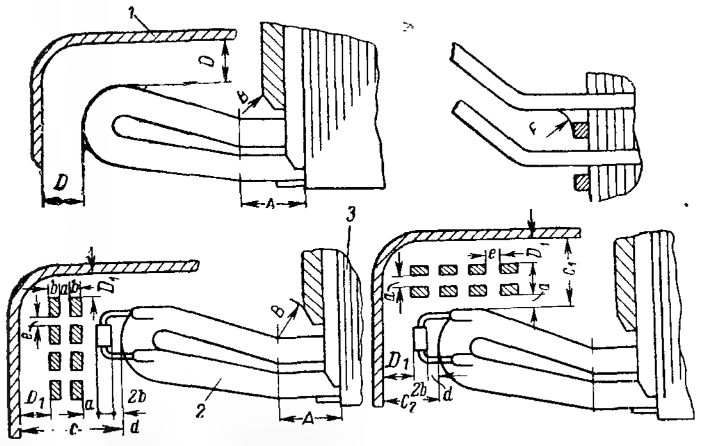


Рис. 4-26. Изоляционные расстояния для двухслойных обмоток.
1 — щит электродвигателя; 2 — лобовая часть обмотки; 3 — корпус статора.

дится с помощью деревянных вилок, которые накладываются на концы гильзы, слегка разворачиваются, чтобы направить гильзу в паз, затем нижняя сторона катушки опускается на дно паза, а верхняя занимает надлежащее место в верхнем слое паза.

На первой катушке должна быть точно соблюдена ориентировка прямолинейной части катушки по отношению к сердечнику стали в соответствии с имеющимся чертежом или заранее составленным эскизом. По этой первой катушке должен быть изготовлен шаблон, по которому следует контролировать все головки катушек, чтобы они расположились на одном уровне. По этой же катушке надлежит проверить соблюдение изоляционных расстояний в лобовых частях как от самих катушек, так и от подлежащих последующей установке внутримашинных соединений, до сердечника статора, корпуса и крышек.

Допустимые расстояния приведены на рис. 4-26 и в табл. 4-11.

Таким же образом производится укладка «замковых» катушек в соседние пазы. Число «замковых» катушек равно шагу обмотки.

Таблица 4-11

Допустимые расстояния в лобовых частях, *мм*

Напряжение электродвигателя, *в*	A: Гильзовая изоляция	A: Компаундированная изоляция	B: Компаундированная изоляция	F: Гильзовая изоляция	F: Компаундированная изоляция	C	C_1	C_2	D	D_1	a	d	l
До 500	10	10	10	10	10				20	15	10	20	5
500—3 000	45	25	20	25	20				30	20	12	25	5
3 000—6 000	60	40	25	40	25	$(a+b)n+2b+d+D_1$	$(a+b)n+D$	$2b+d+D$	40	30	15	25	8
6 000—10 000	90	60	30	70	35				50	40	20	30	12
10 000—13 000	—	—	35	—	40				65	55	25	35	15

Примечания: 1. n — число рядов проводников схемы соединения.
2. Все расстояния приняты от металла до металла.
3. a и b — размеры провода схемы соединения, *мм*.

Следующая после «замковых» катушка своей верхней стороной поместится на нижнюю сторону первой «замковой» катушки. Начиная с этого паза после установки соответствующих прокладок на дно паза, между сторонами катушек и под клин производится заклиновка пазов по мере укладки в них верхних сторон последующих катушек.

Точно так же укладываются остальные катушки, за исключением последних катушек, по числу равных шагу обмотки.

Для укладки этих катушек, нижние стороны которых должны лежать на дне пазов под верхними сторонами «замковых», необходимо верхние стороны «замковых» катушек поднять из пазов, оттянуть к центру расточки и подвязать хлопчатобумажной лентой к рейке, закрепленной в расточке. Замковые катушки должны быть оттянуты к центру на высоту, достаточную, чтобы завести и уложить на дно паза последние катушки всей обмотки (рис. 4-27). Оттягивание катушки должно производиться с максимальной осторожностью во избежание поломки изоляции катушек. После установки соответствующих прокладок подвязанные к рейке стороны катушек опу-

скаются и укладываются в соответствующие пазы, после чего пазы заклиниваются.

В процессе укладки в лобовых частях катушек производится установка и подвязка дистанирующих прокладок, изготовляемых из древесины твердых пород, пропитанных олифой и надлежащим образом просушенных, или из толстого электрокартона, который необходимо пропитать и просушить подобно деревянным прокладкам.

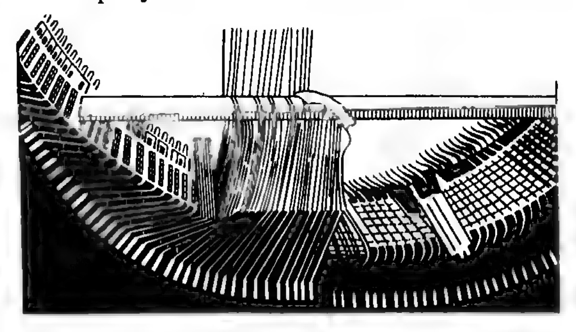


Рис. 4-27. Статор в процессе укладки обмотки.

Прокладки плотно подгоняются по месту, устанавливаются через каждые 150—180 *мм* по длине лобовой части и прочно подвязываются 6—8 рядами шпагата толщиной 1—1,5 *мм*. На рис. 4-28 указаны два варианта установки этих прокладок.

В процессе укладки катушек производится крепление лобовых частей обмотки к бандажным кольцам. Крепление выполняется шпагатом диаметром 2—2,5 *мм* в 5—8 рядов. На рис. 4-29 приведен способ привязки лобовых частей к бандажным кольцам.

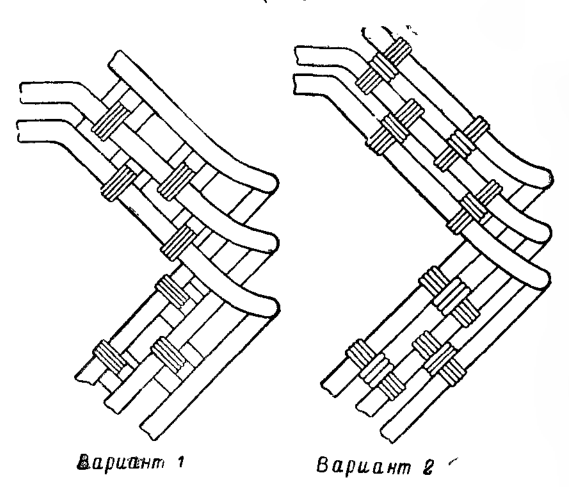


Рис. 4-28. Установка прокладок в лобовых частях катушек.

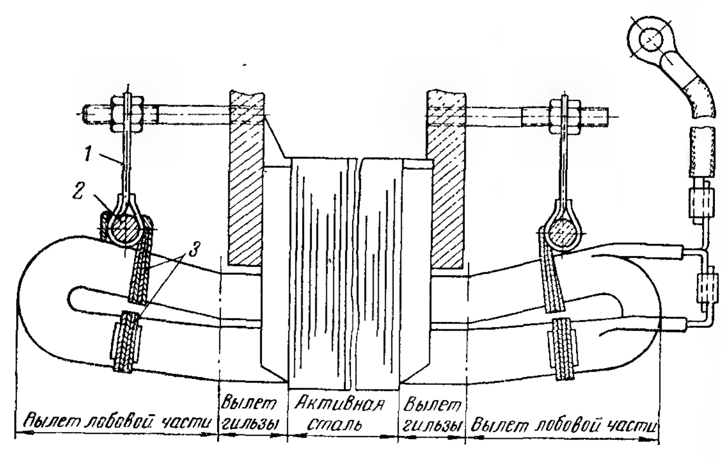


Рис. 4-29. Крепление лобовых частей обмотки.

1 — держатель бандажного кольца; *2* — бандажное кольцо; *3* — шпагатный бандаж.

После укладки катушек и заклиновки пазов до соединения схемы вся обмотка должна быть испытана повышенным напряжением. Замковые катушки, кроме того, испытываются до заклиновки.

Крепление обмоток

Крепление обмотки в пазовой части вне зависимости от вида обмотки производится с помощью клиньев.

Крепление лобовых частей двухслойных обмоток производится путем привязки их к бандажным кольцам. Дополнительным креплением является установка деревянных или текстолитовых распорок между катушками при выходе катушек из паза. Установка прокладок между лобовыми дугами соседних катушек, имеющая основное назначение скрепить между собой лобовые дуги, также создает дополнительную жесткость всей обмотки.

Установка пазовых клиньев. Материалом для пазовых клиньев являются текстолит, гетинакс и дерево. По своим механическим качествам, неподверженности усыханию и низкой гигроскопичности текстолит и гетинакс отвечают всем требованиям, предъявляемым к клиньям.

Высокая стоимость текстолита и гетинакса, а также трудность обработки ограничивают их применение. Тем не менее для клиньев толщиной 4—5 *мм* применение текстолита или гетинакса является почти неизбежным, так как тонкие клинья из дерева являются недостаточно прочными.

Деревянные клинья изготовляются в основном из бука, березы или клена. Влажность древесины не должна превышать 10—12%. Для придания дереву повышенных электроизоляционных свойств и для замедления процесса поглощения влаги клинья должны пропитываться олифой или льняным маслом.

Для пропитки клинья погружают в бачок, заполняют его олифой или льняным маслом на 20—30 *мм* выше уровня заложенных деталей, нагревают бачок до 105—110° С и при такой температуре пропитку проводят в течение 2—3 *ч*. Качество пропитки контролируется по виду излома детали, и если при этом не все сечение клиньев пропитано маслом, время пропитки следует продлить. По окончании пропитки бачок охлаждают, не вынимая из него клиньев. По охлаждении клинья выгружают на ме-

таллическую или деревянную решетку, подсушивают в печи и их поверхность покрывают покровным изоляционным лаком.

Забиваются клинья в пазы статора деревянным молотком (киянкой) с одной или двух сторон электродви-

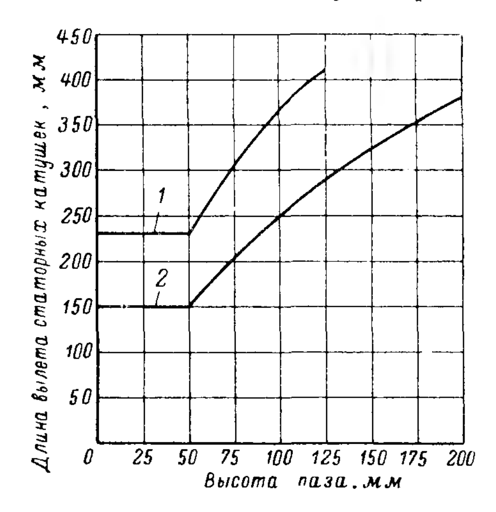


Рис. 4-30. Выбор крепления лобовых частей обмотки.

1 — для электродвигателей с контактными кольцами; *2* — для электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

гателя в зависимости от длины паза. При длинных пазах статора клинья набираются из отрезков длиной 100—150 *мм* каждый.

Установка бандажных колец. Установленные бандажные кольца, их число, размеры и способ крепления должны быть проверены с точки зрения соответствия режиму и условиям работы электродвигателя.

Следует учитывать, что у некоторых электродвигателей ранних выпусков, рассчитанных на пуск при пониженном напряжении, крепление может оказаться недостаточным при переходе на прямые, частые пуски.

Необходимость установки бандажных колец, а также количество колец определяется по кривой на рис. 4-30 по величине вылета лобовых частей и высоте паза. Если размеры вылета, соответствующие данной высоте паза, лежат ниже кривой, бандажные кольца можно не уста-

навливать. Если же это значение будет лежать на кривой или несколько выше, то в этом случае требуется установка только одного кольца. Дополнительные кольца устанавливаются на каждые 100 *мм* вылета выше значений, лежащих на кривой при данной высоте паза.

В качестве материала для колец применяется сталь марок Ст. 2 и Ст. 3.

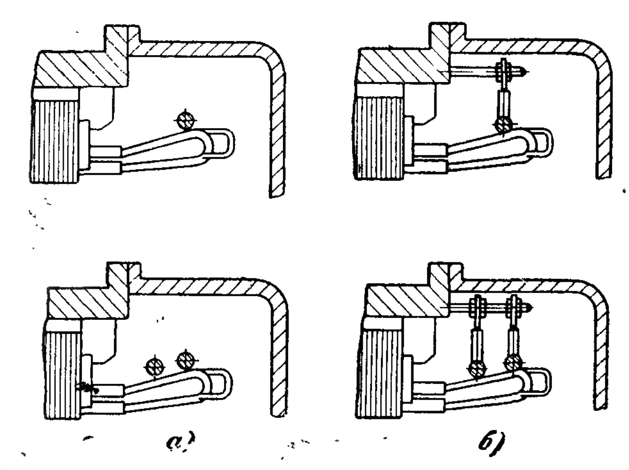


Рис. 4-31. Установка бандажных колец

а — свободное крепление колец; *б* — крепление колец держателями.

Рекомендуется применять кольца квадратного сечения со сторонами 19, 22 и 23 *мм* или, если диаметр расточки статора не превышает 850 *мм*, круглые диаметром 10 *мм*. Бандажные кольца могут быть свободными (рис. 4-31,*а*) или крепиться с помощью держателя (рис. 4-31,*б*). Свободное положение бандажных колец применяется для электродвигателей с диаметром расточки до 850 *мм* при легких условиях работы и нечастых пусках. При расточках более 850 *мм* вне зависимости от условий пуска кольца следует крепить к станине.

Установка распорок между катушками. Распорки между катушками при выходе из паза являются дополнительным видом крепления обмотки и применяются в электродвигателях, где пусковой ток в 5,5—8 раз превышает номинальный.

Материал распорок — текстолит или дерево твердых пород, хорошо просушенное и пропитанное льняным ма-

слом или олифой. Установка распорок оправдывает себя только при точной подгонке их по месту и прочной подвязке к катушкам 8—10 слоями крученого шпагата диаметром 1,5—2,0 *мм*.

Пайка внутримашинных соединений

При ремонте электродвигателей пайке и монтажу внутримашинных соединений следует уделить достаточно внимания. Известны многочисленные случаи тяжелых аварий электродвигателей из-за распайки соединений. Дать какие-либо исчерпывающие рекомендации по способам пайки и особенно по креплению внутримашинных соединений не представляется возможным из-за многообразия способов и систем их исполнения.

До последнего времени пайка соединений в крупных электродвигателях выполнялась мягкими, легкоплавкими оловянистыми припоями с предварительной полудой спаиваемых концов. В настоящее время наряду с этим применяются пайки твердыми тугоплавкими припоями с повышенной механической прочностью — серебряными и медно-фосфористыми.

Виды соединений при пайке. Одним из видов соединения при пайке мягким припоем является соединение встык с помощью медных хомутиков.

Для хорошей пропайки хомутик должен быть правильной формы, пролужен и плотно, с минимальным зазором (0,1—0,3 *мм*), без какого-либо перекоса охватывать соединяемые провода. Сечение хомутика должно составлять не менее 75% сечения провода, а его длина в зависимости от размеров проводов должна быть от 20 до 50 *мм.*

Хомутики должны быть замкнутой формы. Применять открытые хомутики П-образной формы недопустимо.

Более надежным является соединение внахлестку. Однако это соединение занимает больше места, чем соединение встык, поэтому не всегда выполнимо.

В крупных электродвигателях при массивных проводах для большей плотности соединения применяется расклиновка проводов в хомутиках, что делает соединение более надежным. При пайке твердыми припоями надобность в соединительных хомутиках отпадает.

Применяются три способа соединения проводов твердыми припоями:

а) соединение встык (рис. 4-32,*а*);

б) соединение в ус (рис. 4-32,*б*);

в) соединение внахлестку (рис. 4-32,*в*).

Соединения встык и в ус не увеличивают поперечного сечения провода в месте спая и применимы для проводов как прямоугольного, так и круглого сечения. Соединение внахлестку является более надежным, чем соединение встык и в ус, но имеет ограниченное применение из-за увеличенных размеров.

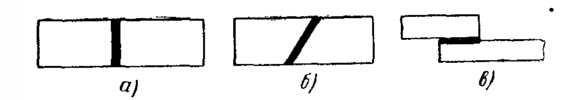


Рис. 4-32. Соединение проводов при пайке твердыми припоями.

Пайка мягкими припоями. Мягкие содержащие олово припои, относящиеся к числу легкоплавких, применяются при необходимости получения соединения с небольшим переходным сопротивлением. Механическая прочность соединения относительно невелика.

Наибольшее распространение оловянистые припои получили при ремонте электродвигателей общепромышленного применения мощностью до 100 *квт* с обмотками, выполненными по классу изоляции А и В.

При выборе марки припоя следует учитывать, что механическая прочность, электрическое сопротивление и коррозионная стойкость соединения при применении припоев ПОС-60, ПОС-40 и ПОС-30 практически одинаковы; различие припоев состоит только в степени их жидкотекучести, которая пропорциональна процентному содержанию олова в припое. Поэтому пайка глубоких и узких щелей должна производиться припоем с более высоким содержанием олова, т. е. припоями марок ПОС-60 и ПОС-90, а в отдельных случаях и чистым оловом. В местах соединений, представляющих собой широкие щели, или при пайке наложенных друг на друга концов проводов следует применять припои ПОС-40 и ПОС-30. Применение в данных случаях припоев с более высоким содержанием олова является неоправданным, так как в процессе пайки припой будет вытекать из места соединения.

Помимо припоев, при пайках применяют также флюсы, назначение которых растворить и удалить окислы и

загрязнения с поверхностей соединяемых металлов и защитить припой от окисления. Кроме того, флюсы уменьшают поверхностное натяжение расплавленного припоя, улучшают смачиваемость соединяемых поверхностей.

Наиболее распространенным флюсом является канифоль, применяемая в сухом виде или в виде раствора в бензине или спирте в соотношении 1 : 1.

Технологический процесс пайки слагается из операций: механической или химической очистки мест паек, нагрева мест паек, покрытия паек флюсом, предварительной полуды мест паек, скрепления проводов соединительными хомутиками, собственно пайки и удаления излишков припоя и остатков флюса.

Механическая очистка спаиваемых поверхностей от жиров окиси и др. производится напильником или шабером. При опиловке необходимо учитывать, что промежуток между двумя спаиваемыми поверхностями должен быть везде одинаковым и составлять 0,1—0,3 *мм.* Такой небольшой промежуток необходим для образования капиллярных сил, которые способствуют засасыванию припоя.

Наиболее распространенные марки припоя ПОС-30 и ПОС-40. Эти марки припоя применяются также при полуде медных проводов и стальной проволоки для бандажей роторов.

Для пайки алюминиевых проводов применяются припои марок Авио-1 и Авио-2.

Иногда под действием нормально нагретого паяльника припой не проникает в шов. Возможные причины этого заключаются в следующем:

1. Пригонка шва сделана настолько плотно (зазор менее 0,1 *мм*), что припой не может туда проникнуть. В таких случаях необходимо увеличить зазор между спаиваемыми поверхностями.

2. Соприкасающиеся поверхности шва загрязнены. В этом случае необходимо повторить операции по очистке и покрытию флюсом.

3. Слишком быстро во время пайки проводят паяльником по шву, вследствие чего место спая не успевает нагреться и припой быстро затвердевает.

Необходимо в процессе пайки проводить паяльником по шву медленно с таким расчетом, чтобы припой на шве около паяльника в течение некоторого времени находился в расплавленном состоянии.

4. Вследствие неудачного расположения шва припой не может затекать в него. Следует изменить расположение шва.

Лужение мягкими припоями. Лужение представляет собой процесс покрытия металлических поверхностей

тонким слоем полуды. Как правило, для лужения применяются припои марок ПОС-30 и ПОС-18.

Технологический процесс лужения состоит из операций: механической очистки мест, подвергающихся лужению, обезжиривания их в бензине или в водном растворе соды или едкого натра с последующей промывкой в проточной воде, химической очистке от окислов, покрытия флюсами или погружения в раствор флюса, подогрева до температуры плавления полуды.

Самый распространенный способ лужения — это погружение концов катушек обмотки или других деталей, подлежащих лужению, в ванну с расплавленным припоем (полудой), откуда после небольшой выдержки времени их вынимают и охлаждают. При лужении температура ванны не должна превышать 210—220° С.

Поверхность расплавленного припоя в ванне быстро окисляется кислородом воздуха и покрывается слоем гари. Для предупреждения окисления расплавленный металл в ванне засыпается сверху толченым коксом, древесным углем или измельченным асбестом.

Пайка твердыми припоями. Пайка твердыми припоями применяется для обмоток с теплостойкой изоляцией, когда мягкий припой с низкой температурой размягчения не позволяет эффективно использовать теплостойкое свойство изоляции.

Кроме того, соединение твердым припоем значительно превосходит по механическим качествам соединение мягким припоем и при хорошо выполненной пайке не уступает прочности меди в неспаянном месте.

При ремонте электродвигателей применяются серебряные припои марок ПСР-70, ПСР-45 и несколько реже ПСР-15. Электропроводность этих припоев приближается к электропроводности меди. В связи с высокой стоимостью припоев, содержащих серебро, за последнее время широкое применение нашли твердые медно-фосфористые припои (преимущественно марки ПМФ-7). Этот припой, будучи значительно дешевле серебряных, почти не уступает им по прочности и электропроводности. Однако пластичные качества этого припоя несколько хуже, чем серебряных, их применение в соединениях, испытывающих знакопеременную изгибающую или ударную нагрузку недопустимо.

В качестве флюса применяется состав, состоящий из 50% буры, 35% борной кислоты и 15% фтористого ка-

12—2535

лия. Применяется флюс в виде порошка или густой пасты, замешанной на воде. Следует отметить, что при хорошо зачищенных поверхностях пайка припоями ПСР-15 и ПМФ-7 дает вполне удовлетворительные результаты без применения флюсов.

Так как температура плавления серебряных и медно-фосфористых припоев выше 700° С, то не применимы паяльники с подогревом спиралями, а также с электродуговым нагревом.

Для пайки твердыми припоями применяются два вида подогрева: контактный и газовым пламенем.

При контактном способе пайки применяются специальные электропаяльные щипцы с угольными электродами, питаемыми от сети низкого напряжения.

Между спаиваемыми деталями закладываются пластинки припоя и при подогреве током эти детали сжимаются угольными электродами щипцов. Процесс нагревания проходит весьма интенсивно и так быстро, что близко расположенная от места спая изоляция не успевает перегреться и подгореть.

Контактный способ пайки для медно-фосфористого припоя практически является единственно надежным, так как пайка газовым пламенем не всегда обеспечивает хорошее и надежное соединение.

Для серебряных припоев пайка газовым пламенем весьма распространена.

При пайке этим способом соединяемые детали предварительно очищаются, запиливаются таким образом, чтобы обеспечивалось взаимное прилегание их друг к другу, и закладываются в соответствующие зажимы для предотвращения их перемещения в процессе пайки. Место спая подогревается пламенем газовой горелки до красного свечения меди, что соответствует температуре 700° С. Во время пайки эту температуру необходимо поддерживать неизменной, так как ее превышение влечет за собой перегрев и пережог меди. При разогреве спаиваемых проводов следует пруток припоя подвести к стыку проводов и держать до тех пор, пока припой не расплавится и не заполнит весь стык между спаиваемыми поверхностями. Припой должен плавиться только от его прикосновения к нагреваемым проводам, а не от пламени горелки.

Изолировка паек. При укладке и закреплении внутримашинных соединений, а также выводных концов

Таблица 4-12

Изоляция соединений и выводов

Напряжение электродвигателя, в	Межкатушечные соединения			Межгрупповые соединения и соединение параллельных ветвей			Выводы обмотки		
	Микалента 0,17 *мм*	Лакоткань 0,2 *мм*	Киперная лента 0,2 *мм*	Микалента 0,17 *мм*	Лакоткань 0,2 *мм*	Киперная лента 0,2 *мм*	Микалента 0.17 *мм*	Лакоткань 0,2 *мм*	Киперная лента 0,2 *мм*
Число слоев при нормальном исполнении									
3 000	2	1	1	3	1	1	3	2	1
6 000	3	2	1	4	2	1	5	3	1
10 000	5	4	1	6	4	1	8	5	1
13 000	7	4	1	8	4	1	10	5	1
Число слоев при усиленном исполнении									
3 000	3	1	1	4	1	1	4	2	1
6 000	3	3	1	4	3	1	5	4	1
10 000	5	5	1	6	5	1	8	6	1
13 000	8	5	1	9	5	1	11	6	1

обмотки необходимо выдерживать изоляционные расстояния. Исполнение изоляции соединений и выводов как для машин нормального исполнения, так и для ответственных крупных машин с усиленной изоляцией приведено в табл. 4-12.

4-4. ОБМОТКИ С КОМПАУНДИРОВАННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Катушки с непрерывной изоляцией при изготовлении на специализированных заводах проходят процесс компаундирования. Этот процесс заключается в том, что после наложения слоев микаленты катушки подвергаются сушке под вакуумом, при которой из изоляции удаляются воздух и летучие вещества, заключенные в лаке, на котором изготовлена микалента. После сушки в котел с загруженными в нем катушками подается под давлением компаундная масса, заполняющая все пустоты между слоями микаленты.

Катушки с указанной изоляцией не имеют недостатков, присущих катушкам с гильзовой изоляцией. В них отсутствует переход изоляции от прямолинейной к лобовой части. Будучи разогретыми до 70—80° С, они стано-

вятся достаточно эластичными и не повреждаются от деформаций, связанных с укладкой обмотки в пазы.

Укладка катушек с непрерывной компаундированной изоляцией по технологической последовательности операций в основном не отличается от укладки катушек с гильзовой изоляцией. Однако ввиду хрупкости холодного компаунда укладку катушек следует производить только при их подогреве до температуры 85—90° С. При указанной температуре изоляция катушек становится достаточно эластичной и выдерживает неизбежные при укладке деформации.

Подогрев катушек осуществляется в соответствующей нагревательной печи либо путем пропускания через них тока от генератора или трансформатора напряжением 12—20 *в*. Величину тока следует отрегулировать таким образом, чтобы требуемая температура достигалась через 20—30 *мин*. В зависимости от величины сопротивления катушки следует соединять последовательно или параллельно.

Ввиду эластичности изоляции в нагретом состоянии лобовые части катушек можно рихтовать и подтягивать к бандажным кольцам с помощью специальных домкратов.

Изготовление катушек с непрерывной компаундированной изоляцией при ремонте электрических машин на местах их установки практически невозможно, так как для компаундирования требуется специальное оборудование.

При описанном ниже способе ремонта таких обмоток они не компаундируются; ремонт может рассматриваться как временный, вынужденный при аварийных обстоятельствах, и применимый для электрических машин напряжением до 6 *кв*. Рассмотрим случаи ремонта: частичный (местный) ремонт общей корпусной изоляции и ремонт с заменой всей общей изоляции.

Частичный ремонт общей изоляции предусматривается при ее местных повреждениях, например при глубоких трещинах, механических повреждениях и электрическом пробое.

Естественно, что этот вид ремонта катушек применим только при полной сохранности проводниковой и витковой изоляции.

Ремонт заключается в том, что вокруг поврежденного места изоляция срезается на конус и вновь изолируется уступами слоями микаленты и одним слоем хлопчатобумажной ленты (рис. 4-33). Следует выполнить срез таким образом, чтобы размер $L \geqslant 10 + \frac{U_н}{200}$ *мм*, где $U_н$ — номинальное напряжение, *в*.

Наложение микаленты нужно производить, смазывая каждый ее слой клеящим масляно-битумным лаком

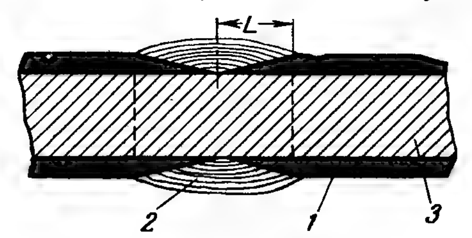


Рис. 4-33. Местный ремонт компаундированной изоляции.

1 — основная изоляция; *2* — новая изоляция; *3* — обмоточные провода.

БТ-95 с максимальной затяжкой микаленты, чтобы по возможности не создавать воздушные «мешки» в изоляции.

Ремонт с заменой всей общей изоляции как и при частичном ремонте общей изоляции предусматривается при сохранности проводниковой и витковой изоляции.

Поврежденную, подлежащую замене общую изоляцию надо снимать с осторожностью, чтобы не повредить проводниковую и витковую изоляцию и не деформировать всю катушку. Для облегчения снятия изоляции рекомендуется подогреть катушку до температуры 70—80° С.

После удаления общей изоляции необходимо испытать катушки на отсутствие замыканий между витками и проводниками. Величины испытательных напряжений приведены выше.

Обнаруженные замыкания устраняются путем расщепления столбика меди и закладки слюдяных пластинок в месте замыканий. Когда по этой причине столбик приходится расщеплять во многих местах и вследствие этого нарушается его монолитность, необходимо столбик опрессовать. Расщепленные места столбиков промазы-

ваются лаком БТ-95, неизолированная катушка по всему контуру обматывается хлопчатобумажной лентой и закладывается в пресс-форму. Столбик опрессовывается при температуре 110—120° С и в опрессованном состоянии выдерживается в течение 1—2 *ч*.

Новую общую изоляцию можно выполнить двумя способами: либо накаткой и выпечкой микафолиевой гильзы на пазовую часть и наложением микалентной и лакотканевой изоляций на лобовую часть, либо изолировкой катушки по всему ее контуру только микалентой.

Первый способ изолировки применим при условии, когда длина вылетов гильзы из пазов может быть обеспечена не менее:

20 *мм* для обмоток электродвигателей напряжением до 500 *в*;
35 *мм* „ „ „ „ „ 3 000 *в*;
50 *мм* „ „ „ „ „ 6 000 *в*.

Следует учитывать, что у большинства компаундированных обмоток вылеты значительно меньше указанных. Это и ограничивает возможность ремонта таких обмоток путем замены компаундированной изоляции гильзовой.

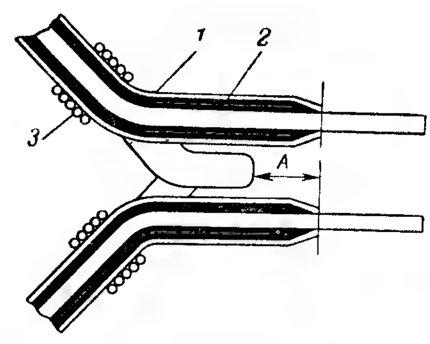


Рис. 4-34. Изоляция выводных концов.

1 — хлопчатобумажная или стеклянная лента; *2* — микалента; *3* — шпагатный бандаж.

В тех же немногих случаях, когда длина вылетов достаточна, операции ремонта выполняются по описанной выше технологии.

Второй способ ремонта — переизолировка катушек по всему контуру микалентой, промазываемой при ее наложении клеящим лаком БТ-95, — отличается от заводской технологии тем, что не производится основная операция, обеспечивающая монолитность изоляции — ее компаундирование. Это в значительной степени снижает эксплуатационную надежность отремонтированных электродвигателей; ремонт может считаться только временным и применимым, как указывалось выше, для обмоток напряжением до 6 000 *в*.

После очистки катушек от старой корпусной изоляции, проверки витковой и проводниковой изоляции на отсутствие замыканий, исправления этой изоляции и опрессовки столбиков производится осмотр, а при надобности выправка и переизолировка выводных концов, а также подвязка их к лобовой части катушек. На рис. 4-34 и в табл. 4-13 указаны требуемые изоляционные расстояния и минимальное число слоев изоляции выводных концов катушек в зависимости от номинального напряжения.

Таблица 4-13

Изоляционные расстояния выводных концов

Напряжение электродвигателя, *в*	Минимальный размер *A*, *мм*	Минимальное число слоев микаленты
500	10	2
3 000	10	3
6 000	15	5

Последующей и очень ответственной операцией, определяющей качество ремонта, является наложение микаленты по всему контуру катушки. Так же как и при предыдущей операции, необходимо добиваться абсолютно плотного наложения микаленты, производя затяжку каждого оборота на прямых участках вручную, а на углах — с помощью киперной ленты. Изоляция должна накладываться строго вполнахлеста.

Толщина изоляции приведена в табл. 4-14.

Таблица 4-14

Толщина изоляции катушек

Напряжение электродвигателя, *в*	Односторонняя толщина изоляции пазовой части, *мм*	Односторонняя толщина изоляции лобовой части, *мм*
500	1,1 (1,6)	1,25 (1,3)
3 000	1,75 (2,0)	1,5 (1,6)
6 000	2,7 (3,2)	2,5 (2,8)

Примечание. В скобках данные для крупных и ответственных электродвигателей.

Изолированная микалентой катушка стягивается временной хлопчатобумажной лентой и сушится в печи в течение 5—7 *ч* при 100° С, а затем опрессовывается в горячей пресс-форме в течение 1—2 *ч* при 100—120° С.

После охлаждения катушка вынимается из пресс-формы, зачищается от потеков лака и покрывается защитным слоем стеклянной, асбестовой или хлопчатобумажной ленты, пропитанной лаком 458. Затем катушка покрывается лаком БТ-99 и сушится на воздухе до прекращения отлипа.

4-5. ОБМОТКИ ФАЗОВЫХ РОТОРОВ

Ниже описывается способ ремонта наиболее распространенных фазовых обмоток роторов — волновых с двумя стержнями в пазу, уложенными в два слоя.

Однослойные, а также стержневые двухслойные петлевые обмотки применяются в фазовых роторах очень редко, так как для них требуется большое число внутримашинных соединений, размещение которых очень затруднительно из-за ограниченности места. Поступление в ремонт электродвигателей с такими роторами носит единичный характер, способы их ремонта нами не рассматриваются.

Несколько чаще, хотя также в весьма ограниченном количестве, поступают в ремонт электродвигатели со всыпной обмоткой ротора. В этих случаях расчет обмотки и технологические процессы их ремонта такие же, как для статорных всыпных обмоток, и не нуждаются в дополнительных пояснениях.

Изоляция обмоток

При ремонтах двухслойных роторных обмоток их изоляция обычно выполняется по классу А или В.

На рис. 4-35 и в табл. 4-15 приведена конструкция этой изоляции в зависимости от класса нагревостойкости, напряжения между кольцами и мощности электродвигателя.

Определение размеров стержней производится по тем же расчетным формулам, что и для статорных двухслойных обмоток. При расчетах следует принимать длину вылетов лобовой части $l_в$ и зазор между лобовыми частями смежных стержней после их укладки в пазы *т*

Таблица 4-15

Изоляция роторных стержней

№ позиции по рис. 4-35	Класс изоляции А		
	Материал	Марка	Толщина, *мм*
	Электродвигатели мощностью до 100 *квт*		
1	Бумага телефонная лакированная	КТ-07	0,07
2	Электрокартон	ЭВ	0,2
3	Стеклолакоткань	ЛСЛ	0,2
4	Электрокартон	ЭВ	0,2
5	Электрокартон	ЭВ	0,5
6	Эскапоновая стеклолакоткань	ЛСЭ	0,2
7	Лента тафтяная[1]	—	0,25
	Электродвигатели мощностью свыше 100 *квт*		
1	Микафолий[2]	МФГ	0,3
2	Электрокартон	ЭВ	0,15
3	Электрокартон	ЭВ	0,15
6	Эскапоновая стеклолакоткань[3]	ЛСЭ	0,2
7	Лента тафтяная[1]	—	0,25

Продолжение табл. 4-15

№ позиции по рис. 4-35	Класс изоляции В		
	Материал	Марка	Толщина, *мм*
	Электродвигатели мощностью до 100 *квт*		
1	Лента стеклянная	—	0,1
2	Стеклолакоткань	ЛСВ	0,2
3	Гибкий миканит	ГФС	0,2
4	Стеклолакоткань	ЛСБ	0,2
5	Стеклотекстолит	СТ	0,5
6	Стеклолакоткань	ЛСБ	0,2
7	Лента стеклянная[1]	—	0,2
	Электродвигатели мощностью свыше 100 *квт*		
1	Стекломикафолий[2]	СМФГ	0,2
2	Электронит или стеклолакоткань	ЛСБ	0,15
3	Электронит или стеклотекстолит	СТ	0,5
6	Микалента[3]	ЛФЧП	0,17
7	Лента стеклянная[1]	—	0,2

[1] Один слой вполнахлеста.

[2] Число оборотов для напряжения до 750 *в* — 3,5, для напряжения 751—1 250 *в* — 5,5.

[3] Для напряжения до 750 *в* — 1 слой и для напряжения 751—1 250 *в* — 2 слоя.

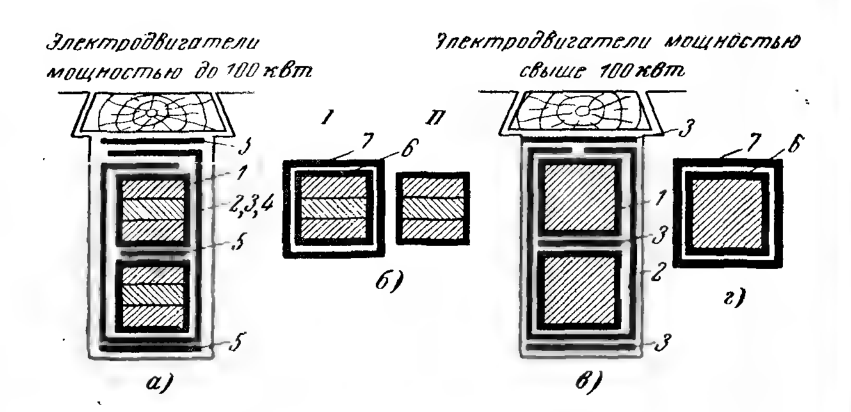


Рис. 4-35. Изоляция роторных стержней.

а — изоляция пазовой части; *б* — изоляция лобовой части; *в* — изоляция пазовой части; *г* — изоляция лобовой части; *I* — крайние катушки в группе; *II* — средние катушки в группе.

в зависимости от напряжения между контактными кольцами согласно табл. 4-16.

Процесс ремонта обмотки при изготовлении ее из новой меди слагается из операций по заготовке, гибке,

Таблица 4-16

Размеры вылетов роторных стержней и зазоров между стержнями

Напряжение между контактными кольцами, *в*	$l_в$, *мм*	*m*, *мм*
До 300	10	2,5
301—500	12	
501—800	16	3,5
801 и выше	20—30	

изолировке, укладке и пайке стержней, а также по бандажировке уложенной в пазы обмотки.

Заготовка стержней

Наиболее применимые марки проводов для обмоток класса А — ПБД и для класса В — ПДА и ПСД. При заготовке меди для стержней следует учиты-

вать, что в соответствии со схемой соединения часть стержней должна быть заготовлена применительно к удлиненным и укороченным переходам.

Заготовленные отрезки меди после их рихтовки размечаются на приспособлении (рис. 4-36).

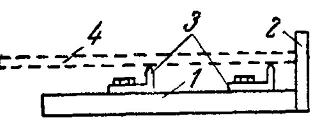


Рис. 4-36. Приспособление для разметки стержней.

1 — плита-основание; *2* — упорная стойка; *3* — передвижные острия (чертилки); *4* — размечаемый стержень (заготовка).

Острия *3* устанавливаются согласно расчету в тех местах, где стержень должен быть изогнут, а также на границах его изолировки. При передвижении стержня *4* вдоль чертилок *3* на стержне остаются следы в виде тонких линий.

Гибка стержней

Для изгиба стержней применяются приспособления (рис. 4-37,*а*), представляющие собой плиту *1* с двумя продольными пазами *2*, вдоль которых можно

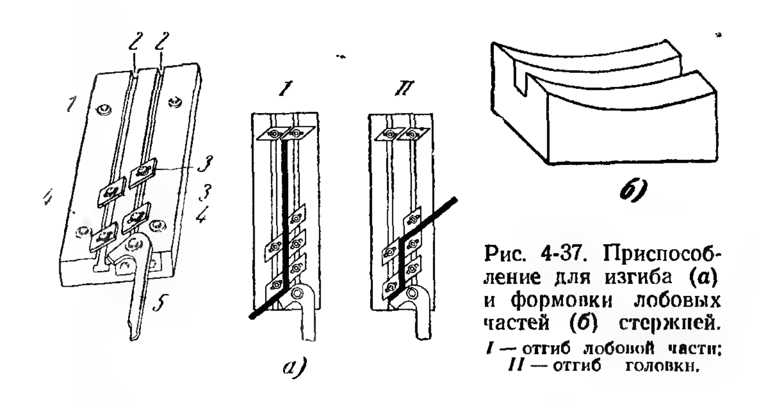


Рис. 4-37. Приспособление для изгиба (*а*) и формовки лобовых частей (*б*) стержней.

I — отгиб лобовой части; *II* — отгиб головки.

передвигать пластины *3* и закреплять эти пластины в нужном положении с помощью болтов *4*. Изгиб стержня производится поворотом на требуемый угол рычага *5*. На рис. 4-37, *I* указано положение пластин *3*, необходимое для отгиба головки стержня. Для отгиба

лобовой части стержень вынимают из приспособления, пластины 3 устанавливают в новое требуемое положение, стержень переворачивают и изгибают его, как это указано на рис. 4-37,*II*.

После изгиба стержней для придания лобовым частям необходимой формы соответственно диаметру ротора применяется приспособление — шаблон (рис. 4-37,*б*).

Изолировка стержней

Стержни, подлежащие изолировке, должны быть тщательно выправлены, промазаны клеящим лаком 1155 и просушены на воздухе в течение 0,5—1 *ч*. Стержни, состоящие из нескольких параллельных проводников, после их совместной выправки плотно стягиваются стеклянной или хлопчатобумажной лентой.

При изолировке стержней телефонной бумагой эта бумага в процессе ее наложения должна проглаживаться горячим утюгом. Расслоение и отставание слоев бумаги не допускается.

При гильзовой изолировке стержней процессы, режимы и применяемые приспособления для наложения, опрессовки и выпечки микафолия аналогичны применяемым при изготовлении статорных обмоток.

Ввиду сравнительно небольших рабочих напряжений роторных обмоток сопряжение изоляции лобовой и пазовой частей стержней обычно производятся способом «прямого конуса», что упрощает процесс изготовления и позволяет избегнуть утолщения в месте стыка изоляции.

Наряду с указанными материалами все более широкое применение находит полиэтилентерефталатная пленка при изолировке по классу А, а также слюдинитофолий при изолировке по классу В.

Укладка обмотки

Изоляция обмоткодержателей (если они предусмотрены по конструкции ротора) между верхними и нижними слоями стержней в лобовых частях, под бандажами, а также внутримашинных соединений и хомутиков приведена на рис. 4-38 и в табл. 4-17. В последнее время вместо проволочных бандажей большое распростра-

Таблица 4-17

Изоляция деталей крепления и соединения роторов

№ позиции по рис. 4-38	Класс изоляции А		
	Материал	Марка	Толщина *мм*
	Изоляция обмоткодержателей		
1	Электрокартон[3]	ЭВ	0,5
2	Слюдинит гибкий[1]	ГСП	0,2
3	Электрокартон[3]	ЭВ	0,5
4	Лента киперная[3]	—	0,45
	Изоляция между слоями		
5	Электрокартон[2]	ЭВ	0,5
6	Слюдинит гибкий[1]	ГСП	0,2
7	Лента киперная[3]	—	0,45
	Подбандажная изоляция		
8	Электрокартон[1]	ЭВ	0,2
9	Миканит формовочный[1]	ФФГ	0,5
10	Электрокартон[2]	ЭВ	0,2
	Изоляция внутримашинных соединений		
11	Эскапоновая стеклолакоткань[1]	ЛСЭ	0,2
12	Лента тафтяная[3]	—	0,25
	Изоляция хомутиков		
13	Эскапоновая стеклолакоткань[3]	ЛСЭ	0,2
14	Лента тафтяная[3]	—	0,25

Продолжение табл. 4-17

№ позиции по рис. 4-38	Класс изоляции В		
	Материал	Марка	Толщина, *мм*
	Изоляция обмоткодержателей		
1	—	—	—
2	Лакостекломиканит[2]	ГФГС$_1$, ЛБС	0,5
3	—	—	—
4	Лента стеклянная[2]	—	0,2
	Изоляция между слоями		
5	Лакостекломиканит[4]	ГФГС$_1$, ЛБС	0,5
6	—	—	—
7	Лента стеклянная[3]	—	0,1

№ позиций по рис. 4-38	Класс изоляции В		
	Материал	Марка	Толщина, *мм*
	Подбандажная изоляция		
8	Электронит[1]	—	0,2
9	Миканит формовочный[1]	ФФГ	0,5
10	Электронит[1]	—	0,5
	Изоляция внутримашинных соединений		
11	Стеклолакоткань[1]	ЛСБ	0,2
12	Лента стеклянная[3]	—	0,1
	Изоляция хомутиков		
13	Стеклолакоткань[3]	ЛСБ	0,2
14	Лента стеклянная[3]	—	0,1

[1] Для напряжения до 750 *в* — I слой, для напржяения 751—I 250 *в* — 2 слоя.
[2] Два слоя.
[3] Один слой.
[4] Для напряжения до 750 *в* — 2 слоя для напряжения 751—1 250 *в* — 3 слоя.

нение получили бандажи из специальной стеклобандажной ленты. Для этих бандажей не требуется наложение подбандажной изоляции.

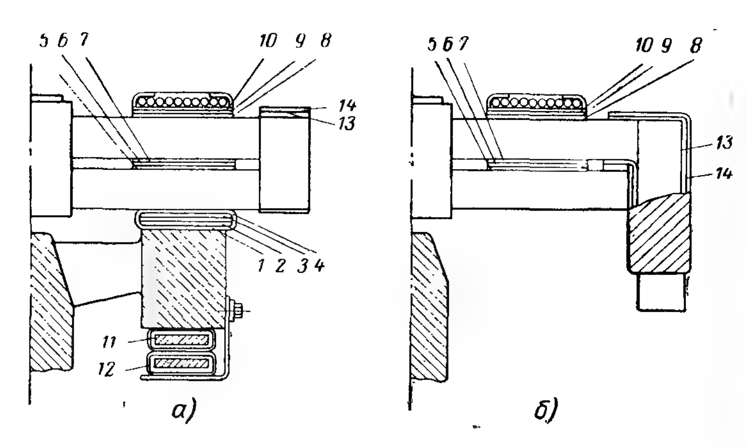


Рис. 4-38. Изоляция обмоткодержателей, деталей крепления и соединений роторных обмоток.

а — для роторов с обмоткодержателями; б — для роторов без обмоткодержателей.

Наложение бандажей

Центробежные силы, возникающие при вращении ротора, стремятся выбросить обмотку из пазов и отогнуть лобовые части. Эти силы во много раз превосходят вес самой обмотки и изменяются пропорционально квадрату скорости вращения. Поэтому при ремонтах электродвигателей, связанных с уменьшением числа полюсов, следует проверить прочность бандажа для новых условий работы.

Для удержания обмотки, помимо пазовых клиньев, служат бандажи из стальной магнитной, стальной немагнитной, а также бронзовой проволок, накладываемых как на лобовую, так и на пазовую часть обмотки.

Немагнитная проволока применяется для крупных электродвигателей, имеющих большую длительность пуска или длительную работу при пониженной скорости вращения. Если на лобовой части установлено несколько бандажей, то можно ограничиться применением немагнитной проволоки только для ближнего к активной стали бандажа, а остальные намотать из магнитной проволоки.

В электродвигателях с фазовым ротором общепромышленного применения, имеющих, как правило, полузакрытые пазы ротора, бандажи устанавливаются только на лобовых частях обмотки.

При ремонтах, не связанных с изменением скорости вращения при перемотке бандажей, повторяется их заводское исполнение. При отсутствии проволоки требуемого диаметра равнопрочный бандаж должен иметь число витков

$$n_{нов} = n_{ст}\frac{d_{ст}^2}{d_{нов}^2},$$

где $n_{нов}$ — новое число витков;
$n_{ст}$ — старое число витков;
$d_{нов}$ — диаметр новой бандажной проволоки, *мм;*
$d_{ст}$ — диаметр старой бандажной проволоки, *мм.*

При изменении скорости вращения новое число витков составит:

$$n_{нов} = \frac{1{,}63GD_2}{d^2(R_z - \sigma)}\left(\frac{n}{1\,000}\right)^2,$$

где G — вес лобовой части обмотки с изоляцией, *кг;*

D_2 — средний диаметр обмотки, *см;*

n — номинальная скорость вращения ротора, *об/мин;*

d — диаметр проволоки бандажа, составляющий в зависимости от диаметра ротора:

диаметр ротора, *мм*	100—200	201—400	401—600	601—1 000	Свыше 1 000
диаметр проволоки, *мм*	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0

R_z — допускаемое напряжение растяжения в бандаже, составляющее для стальной проволоки 3 000—3 500 *кГ/см²*, для бронзовой проволоки 1 800—2 000 *кГ/см²*;

σ — напряжение в бандаже, возникающее от веса бандажа при его вращении:

$$\sigma = k_б D_1^2 \left(\frac{n}{1\,000}\right)^2, \ кГ/см^2,$$

D_1 — диаметр бандажа, *см;*

$k_б$ — коэффициент, равный для стальной проволоки 0,32, для бронзовой проволоки 0,35.

Расположение бандажа должно быть таким, чтобы по возможности не затруднять вентиляцию лобовых частей обмотки. При необходимости в размещении большого числа витков бандаж должен быть выполнен многослойным. В этом случае наружный диаметр бандажа ограничивается условием безопасного ввода и вывода ротора из расточки статора.

Минимальная разность между диаметром расточки и наружным диаметром бандажа должна быть не менее:

диаметр расточки, *мм*	100—200	201—400	401—600	601—1 000	Свыше 1 000
разность диаметров расточки и бандажа, *мм*	2,0	2,5	3	4	5—7

С целью уменьшения вихревых токов в массиве бандажа длина однослойного бандажа не должна превышать 40 *мм*. При невозможности уложиться в этот размер бандажи разделяют асбестовыми прокладками. В многослойных бандажах устанавливают прокладки между всеми слоями.

Проволока должна наматываться на предварительно опрессованные лобовые части обмотки с определенным

и равномерным натяжением, составляющим в зависимости от ее диаметра:

диаметр проволоки, *мм*	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
натяжение проволоки, *кГ*	30—40	50—60	65—80	100—120	180—200

При многослойных бандажах натяжение проволоки в каждом следующем слое должно быть на 10% меньше предыдущего. Наматывать бандаж крайне желательно одним куском проволоки без паек.

Устройство однослойного бандажа приведено на рис. 4-39. Начало бандажа захватывается замковой скрепкой из луженой жести толщиной 0,5 *мм*. Конец скрепки зажимается последующими витками бандажа (рис. 4-39,*а*). Конец бандажа заводится в ушко скрепки (рис. 4-39,*в*), которое выгибается заранее. По окружности бандажа через каждые 150—200 *мм* устанавливаются промежуточные скрепки (рис. 4-39,*б*), назначение которых скрепить все проволоки бандажа. Ширина скрепок должна быть не менее:

для проволоки диаметром до 1 *мм* —8 *мм*;
для проволоки диаметром до 1,5 *мм* —10 *мм*;
для проволоки диаметром 2 *мм* и более—15 *мм*.

Скрепки загибаются на бандаж на 8—10 *мм*.

На рис. 4-39 показано также расположение асбестовых прокладок, разделяющих бандаж по ширине.

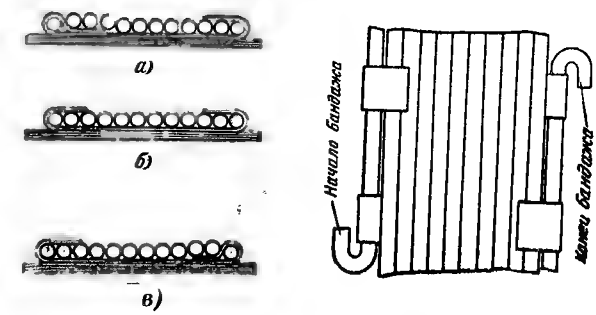


Рис. 4-39. Однослойный бандаж.

Для намотки бандажей существуют специальные станки, а также используются токарные станки, могущие работать при низкой скорости вращения. В ремонтной практике намотка бандажей часто производится хорошо зарекомендовавшим себя способом «петли» (с тарирован-

ным грузом, рис. 4-40). При намотке этим способом нет надобности в специальных приспособлениях для натяжки провода; усилие, требующееся для вращения ротора,

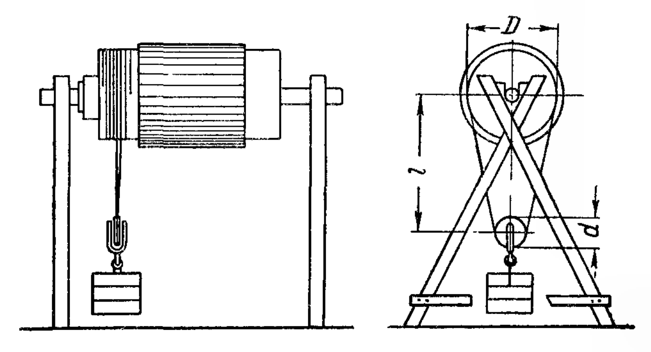


Рис. 4-40. Приспособление для намотки бандажей.

невелико. С помощью этого устройства наматываются как постоянные бандажи, так и временные — для опрессовки лобовых частей обмотки.

Величина натяжения проволоки P определяется грузом Q, подвешиваемым к блоку, из соотношения

$$Q = P\sqrt{4 - \frac{D-d}{l}},\ кГ.$$

Для намотки временных бандажей этим приспособлением следует:

а) осадить лобовые части подбинкой молотком через деревянную или текстолитовую прокладку;

б) подготовить отрезок проволоки для временных бандажей из расчета наложения 50—60% от количества витков постоянного бандажа; проволока для временных и постоянных бандажей одинакова;

в) закрепить один конец проволоки на бочке ротора. Вращая ротор и создавая небольшой натяг от руки, намотать проволоку на бочку ротора. Последний виток сделать несколько больше, чтобы он образовал петлю, в которую поместить блок. Второй конец закрепить за обмоткодержатель. Повесить груз Q, величина которого выбирается из расчета натяжения проволоки, составляющего 125—130% от расчетного натяжения постоянного бандажа. Положить на лобовую часть два слоя электрокартона 0,5 *мм*, уложить полосы из белой жести для скобочек на расстоянии 300—400 *мм* друг от друга и закрепить их киперной лентой. Вращая ротор в обратную сторону, перемотать проволоку на лобовую часть обмотки. Эту перемотку проволоки произвести 3—4 раза. Загнуть и пропаять промежуточные скобочки припоем ПОС-30 или ПОС-40. Загнуть

проволочку у концевых скобочек, пропаять эти скобочки и отрезать излишек проволоки;

г) произвести все необходимые работы по пайке и сушке обмоток.

Процесс намотки постоянных бандажей аналогичен процессу намотки временных бандажей, за исключением того, что под бандаж закладывается не электрокартон, а постоянная подбандажная изоляция, скобки проставляются не через 300—400 *мм*, а через каждые 150—200 *мм*. Пропаиваются не только скобочки, а целиком весь бандаж.

Бандажи считаются доброкачественными, если при легком постукивании молотка он не издает глухого или дребезжащего звука, хорошо пропаян, без наплывов припоя, черновин и пятен. Витки проволоки должны плотно прилегать друг к другу.

Допускаемая эллиптичность и конусность бандажа может быть в пределах 50% значений, приведенных для разности диаметров расточки статора и бандажа.

Следует указать, что разрыв или размотка бандажей ротора при вращении электродвигателя является очень тяжелой аварией и обычно влечет за собой повреждение обмоток и активной стали. Поэтому ремонту этого узла следует уделять особое серьезное внимание.

Наряду со стальными успешно применяются бандажи из стекловолокна, пропитанного термореактивным лаком.

Натяжение стекловолокнистых бандажей производится на том же оборудовании, что и стальных, дополненном специальными приспособлениями — роликами и укладчиками ленты. Заделка концов бандажей не требует скобок или замков; крепление последнего витка с лежащим ниже слоем производится при спекании лака, которым пропитано стекловолокно.

4-6. ОБМОТКИ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ РОТОРОВ

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором по сравнению с электродвигателями с фазовым ротором более просты по конструкции, значительно надежней в эксплуатации и не требуют дорогостоящей пускорегулирующей аппаратуры.

Несмотря на то что эти электродвигатели не могут быть использованы для привода механизмов, где требуется плавный пуск, большой пусковой момент (напри-

мер, для привода многих прокатных станов, цементных мельниц и др.) и регулирование скорости, они более широко распространены, чем электродвигатели с фазовым ротором.

Обмотки короткозамкнутых роторов (беличьи клетки) подразделяются на:

одноклеточные с круглыми медными стержнями,

одноклеточные глубокопазные,

двухклеточные,

со стержнями специального профиля (бутылочного и трапецеидальной формы),

с беличьими клетками, полученными путем заливки алюминия в пазы ротора.

Конструкция одноклеточных роторов с круглыми медными стержнями является устаревшей, и такие роторы сняты с производства на наших электромашиностроительных заводах, однако они находятся еще в эксплуатации в большом количестве и с их ремонтом приходится часто сталкиваться.

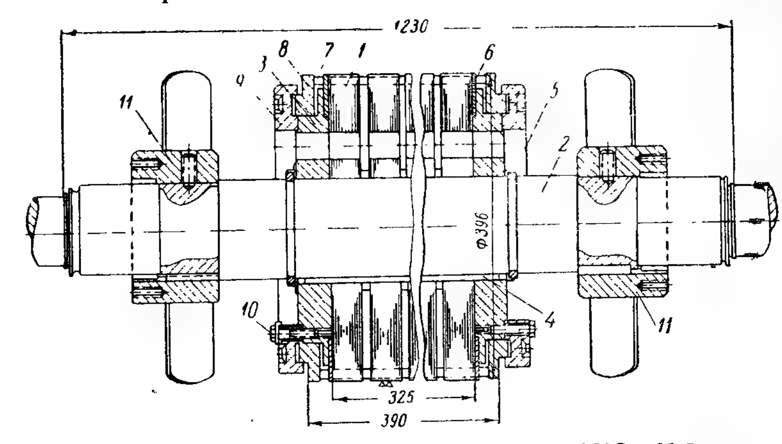


Рис. 4-41. Ротор асинхронного двигателя КАМО 133-2.

1 — пакеты активной стали; *2* — вал; *3* — нажимная шайба; *4* — продольная шпонка; *5* — пружинное кольцо; *6* — крайние утолщенные листы стали; *7* — медные стержни; *8* — короткозамыкающее кольцо; *9* — бандажное кольцо; *10* — болты для крепления бандажных колец; *11* — вентилятор.

На рис. 4-41 изображен ротор асинхронного двигателя типа КАМО133-2 мощностью 290 *квт*, напряжением 6 *кв*, со скоростью вращения 2980 *об/мин*. Электродвигатели этого типа имеют малую кратность начального пускового момента (отношение начального пускового момента к номинальному), составляющую в зависимости от мощности электродвигателя и скорости его вращения 0,7—1,3, а в некоторых случаях еще ниже (до 0,5).

За счет увеличения скольжения ротора путем увеличения омического сопротивления его обмотки можно было бы повысить кратность начального пускового момента, но это является неэкономичным, так как возрастают потери рабочего режима электродвигателя.

Повышения кратности пускового момента до 1,5—2 без увеличения номинального скольжения удалось достигнуть путем применения стержней прямоугольной формы с большим отношением высоты к ширине.

Рис. 4-42. Паз ротора и соединение стержня с кольцом электродвигателя А114-8.

Кроме формы стержней и способа их крепления к короткозамыкающим кольцам, эти так называемые глубокопазные роторы ничем не отличаются от роторов с простой беличьей клеткой.

На рис. 4-42,*а* приведен разрез паза глубокопазного двигателя типа А114-8, 250 *квт*, 500 *в*, а на рис. 4-42,*б* — эскиз соединения стержня этого двигателя с короткозамыкающим кольцом.

Двигатели с глубоким пазом принадлежат к 10—11-му габаритам: при числе полюсов $2p=6$, 8 и 10 для 10-го габарита и $2p=8$ и 10 для 11-го габарита. Мощность этих двигателей от 55 до 250 *квт*.

Из ранее выпускаемых нашей промышленностью двигателей с глубоким пазом мощностью выше 100 *квт* основными являются двигатели ГАМО. Двигатели этой серии принадлежат к 11, 12 и 13-м габаритам, выпускаются мощностью от 75 до 430 *квт* на 4 и 6 полюсов. До настоящего времени эти электродвигатели работают в установках промышленности и электростанций.

В роторах этих электродвигателей используется явление вытеснения тока к наружным частям стержней беличьей клетки в начальный момент включения элек-

тродвигателя, когда скольжение равно единице, а частота тока ротора совпадает с частотой тока в сети. Вытеснение тока в стержнях ротора эквивалентно увеличению активного и уменьшению индуктивного сопротивления обмотки ротора.

Однако эти электродвигатели, обладая сравнительно удовлетворительными эксплуатационными показателями,

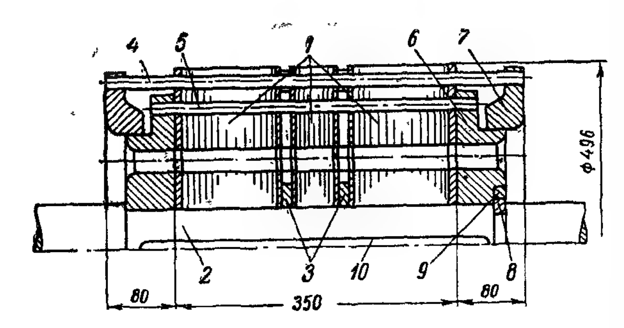


Рис. 4-43. Двухклеточный ротор асинхронного двигателя типа АТМ-500-2.

1 — пакеты шихтованного ротора; 2 — вал; 3 — дистанционные кольца; 4 — бронзовый стержень пусковой клетки; 5 - медный стержень рабочей клетки; 6 — латунное короткозамыкающее кольцо рабочей клетки; 7 — стальное короткозамыкающее кольцо пусковой клетки; 8 — кольцевая шпонка; 9 — предохранительное кольцо; 10 — шпонка.

являются недостаточно надежными в работе. Неравномерное распределение тока по сечению стержня в период пуска вызывает неравномерный нагрев как по высоте самого стержня, так и сопряженного с ним участка короткозамыкающего кольца. Эти неравномерные нагревы вызывают нарушение контакта между стержнями и короткозамыкающим кольцом, изгибы и поломки стержней и колец.

Более надежными и распространенными являются электродвигатели с двухклеточным ротором, применяемые в более широком диапазоне мощностей и скоростей вращения, чем простые одноклеточные и глубокопазные.

На рис. 4-43 изображен двухклеточный ротор электродвигателя типа АТМ-500-2 мощностью 500 *квт,* 6 *кв* со скоростью вращения 2 980 *об/мин.*

Материалом для стержней рабочей клетки обычно является медь, а для стержней пусковой клетки — латунь и бронза. Замыкающие кольца рабочей клетки выполняются медными или латунными, а пусковой клетки медными, бронзовыми или стальными.

Формы пазов приведены на рис. 4-44. Наиболее употребительной является форма на рис. 4-44,*б*.

Если сравнивать между собой двухклеточный и одноклеточный роторы с круглыми стержнями, то из условий расположения обмоток следует, что двухклеточный ротор имеет большее индуктивное сопротивление рассеяния. Поэтому cos φ этих электродвигателей меньше, чем у простых одноклеточных.

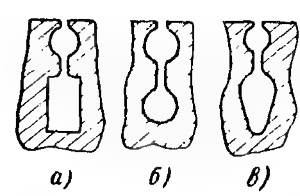


Рис. 4-44. Пазы двухклеточного ротора.

В настоящее время выпускаются более совершенные по конструкции электродвигатели с одноклеточными роторами, с пазами и стержнями специального профиля. Роторы этих электродвигателей сочетают в себе преимущества двухклеточных и глубокопазных роторов.

На рис. 4-45 показана форма стержня и паза так называемого бутылочного профиля, а также сопряжение стержня с замыкающим кольцом. Как видно, при заходе стержня в кольцо верхняя прямоугольная часть стержня срезается, а нижняя цилиндрическая входит в круглое отверстие кольца. Поэтому соединение получается достаточно надежным.

Как стержни, так и короткозамыкающие кольца выполняются из меди.

Описанные ранее электродвигатели типа АТМ с двухклеточным ротором реконструированы заводом-изготовителем и выпускаются с роторами в одноклеточном исполнении со стержнями бутылочного профиля. Большинство выпускаемых крупных короткозамкнутых электродвигателей единой серии типов А и АЗ — 12-го и 13-го габаритов мощностью от 160 до 1 250 *квт* на 4, 6, 8, 10 и 12 полюсов также имеют роторы со стержнями бутылочного профиля.

Кроме стержней бутылочного профиля применяются стержни, имеющие трапецеидальный профиль. По своим электрическим качествам стержни этого профиля не уступают стержням бутылочного профиля. В то же время эти стержни допускают подклиновку в низу паза, при которой стержни плотно прижимаются к стенкам паза. Тем

самым обеспечивается лучшая теплоотдача от стержней к стали, предотвращается возможность вибрации стержней. Изготовление стержней трапецеидального профиля проще, чем бутылочного.

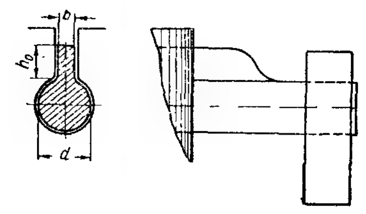


Рис. 4-45. Стержень и паз «бутылочного» профиля.

Детали ротора с трапецеидальными стержнями приведены на рис. 4-46.

Принцип получения повышенного пускового момента роторов со стержнями бутылочного и трапецеидального профилей аналогичен такому же в глубокопазном электродвигателе. Малое сечение этих стержней в их верхней части обусловливает большое активное сопротивление обмотки, необходимое при пуске электродвигателя.

Особую группу образуют короткозамкнутые роторы, беличьи клетки которых получаются путем заливки пазов алюминием. Для электродвигателей мощностью до

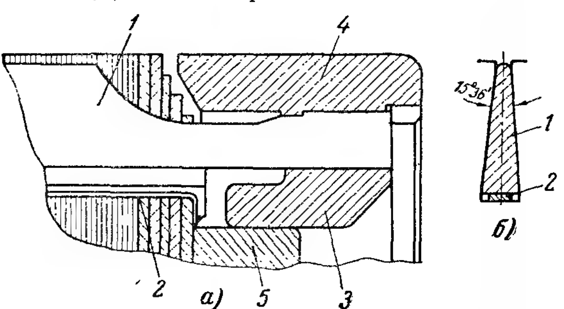


Рис. 4-46. Ротор типа АТД со стержнями трапецеидального профиля.

а — конструкция беличьей клетки; *б* — сечение паза ротора; *1* — стержень трапецеидального сечения; *2* — роторный клин; *3* — короткозамыкающее кольцо; *4* — стальное бандажное кольцо; *5* — нажимное кольцо.

100 *квт* такие роторы получили очень широкое распространение, а в последнее время они применяются также для более мощных электродвигателей.

В литых беличьих клетках одновременно заливаются стержни, короткозамыкающие кольца и, если это предусмотрено конструкцией электродвигателя, вентиляционные лопатки как одно целое с кольцами.

Большим достоинством таких беличьих клеток, помимо дешевизны, сравнительной простоты изготовления и облегчения веса ротора, является то, что при заливке стержни плотно, без зазоров прилегают к стенкам паза. Благодаря этому обеспечивается хорошая теплоотдача от стержней к стали, а также предотвращается возможность вибрации стержней.

Применяемые вместо чистого алюминия алюминиевые сплавы с повышенным удельным сопротивлением (в основном алюминиево-марганцовистые) увеличивают активное сопротивление обмотки ротора, пусковой момент электродвигателя и его скольжение при номинальном режиме работы.

При заливке приходится считаться со специфической особенностью алюминия: его быстрой окисляемостью в расплавленном состоянии, влекущей за собой образование трещин и расслоений по окисленной поверхности. Технология заливки должна учитывать указанную особенность алюминия и его сплавов.

Чтобы обеспечить надлежащее качество отливок, избежать разрыва стержней при их усадке при остывании необходим прогрев сердечника перед заливкой до температуры, близкой к температуре расплавленного алюминия.

Заливка роторов алюминием на заводах-изготовителях производится различными способами в зависимости от объема производства, располагаемого оборудования и других производственных факторов.

Основными способами заливки являются статический, вибрационный, центробежный и заливка под давлением. При ремонтах применяется только первый и второй способы заливки, так как два последних способа требуют специального, дорогостоящего оборудования, приобретение которого во многих случаях оказывается нерентабельным не только для электроремонтных цехов промышленных предприятий, но и для специализированных электроремонтных заводов. Это объясняется тем, что ремонт алюминиевых беличьих клеток, связанный с их полной перезаливкой, сравнительно редок.

Статический способ заливки

Статический способ заливки применяется при небольшой длине сердечника, до 350—400 *мм*, и пазах диаметром не менее 7—8 *мм*.

Для заливки пакеты стали насаживаются на оправку *1* (рис. 4-47) вместе с нижней и верхней чугунными формами *2*,

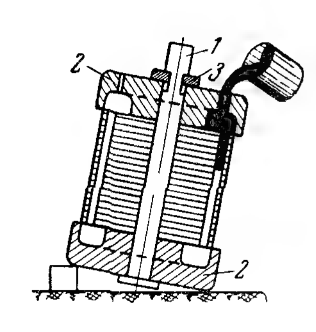


Рис. 4-47. Статическая заливка ротора.

имеющими полости по форме короткозамыкающего кольца и крыльев вентилятора. Пакет стали прессуется, запирается на оправке кольцевой шпонкой *3*, разогревается до 500—550° С и устанавливается в наклонном положении. Заливка производится алюминием, разогретым до 750—780° С, через высокие литники. Статический способ заливки роторов сравнительно прост, но при нем не всегда обеспечивается должное заполнение пазов — без пропусков, сужений и расслоений. Причина заключается в том, что при сравнительно низкой текучести расплавленного алюминия заполнение формы происходит только под действием собственного веса металла и сравнительно небольшого гидростатического давления слоя металла в литнике. Поэтому при статическом способе заливки часты случаи брака, требуется тщательная дефектировка залитых роторов.

Вибрационный способ заливки

При вибрационном способе заливки, так же как и при статическом, сердечник вместе с нижней и верхней формами насаживается на оправку и прессуется. Принцип вибрационного способа заключается в том, что в процессе заливки ротору сообщаются колебательные движения, способствующие хорошему заполнению пазов. На рис. 4-48 схематически показано простейшее устройство для создания колебательных движений, состоящее из консольной балки или плиты *3*, заделанной в стену, на которой установлен маломощный двух-четырехполюсный электродвигатель *2* с несбалансированным диском на валу, подобранный таким образом, чтобы размах колебаний конца балки составлял 3—5 *мм*.

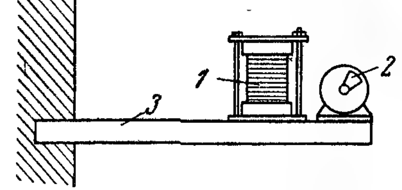


Рис. 4-48. Схема установки для вибрационной заливки ротора.

1 — ротор; *2* — электродвигатель с несбалансированным диском; *3* — балка.

Заключенный в форму и спрессованный сердечник ротора устанавливается на конце балки. При вращении электродвигателя балка и установленная на ней форма вибрируют, и под влиянием инерционных сил, возникающих в расплавленном алюминии, хорошо заполняются пазы ротора и все полости в форме. Колебательные движения должны сообщаться ротору и по окончании заливки, что способствует образованию мелкокристаллического строения, повышающего прочность литой беличьей клетки. Несмотря на то что при вибрационном способе обеспечивается более высокое качество заливки, чем при статическом, имеют место случаи брака; необходимость проверки качества заливки является обязательной.

Наиболее частым видом повреждения беличьих клеток (кроме литых алюминиевых) является нарушение соединения стержней с короткозамыкающими кольцами. Это нарушение может быть в виде отрыва одного или нескольких стержней от кольца. В этих случаях под действием центробежных сил, особенно значительных у быстроходных электродвигателей с большим диаметром ротора, оторванный конец может отогнуться и повредить лобовые части обмотки статора. Другим частым видом нарушения соединения является распайка стержней с короткозамыкающими кольцами.

Причиной этих повреждений является перегрев металла при пайках во время предыдущих ремонтов или при изготовлении электродвигателя на заводе, когда были недопустимо ухудшены механические свойства металла, а также несоответствующие тепловые и динамические нагрузки при пусках электродвигателя. Особенно неблагоприятными являются частые, повторные пуски из горячего состояния для электродвигателей с тяжелыми условиями пуска и реверсивных электродвигателей. Произведенными исследованиями установлено, что температура отдельных частей клетки достигает при этом 400—500° С.

Повреждения самих короткозамыкающих колец, связанные с их разрывом или деформацией, сравнительно редки, и как правило, происходят из-за ухудшения механического качества металла при пайке стержней.

Другими повреждениями беличьей клетки, которые приводят к аварийному выходу электродвигателя из строя, являются прогиб выступающих из пазов концов стержней в радиальном или тангенциальном направлении, а также подгары на короткозамыкающих кольцах в местах соединения со стержнями.

Указанные нарушения и неисправности могут быть обнаружены при тщательном осмотре ротора с помощью лупы с шести-десятикратным увеличением, при простукивании мест соединений легким ручником. Роторы некоторых короткозамкнутых электродвигателей, имеющие конструктивные недостатки, должны при ремонтах подвергаться модернизации. К таким роторам относятся:

а) двухклеточные роторы электродвигателей типа АТМ. При ремонтах эти роторы следует переводить на одноклеточные. Устранение самых незначительных повреждений нижней, рабочей клетки возможно только при

полном демонтаже верхней, пусковой клетки, иначе подход к ним недоступен. При профилактических ремонтах осмотр нижней клетки также совершенно невозможен;

б) роторы электродвигателей типа КАМО. В этих роторах часты случаи проворачивания короткозамыкающего кольца относительно ротора;

в) роторы электродвигателей типа ГАМО. В этих роторах имеет место разрыв стержней на участке их соединения с кольцами из-за недостаточной прочности узла крепления стержней.

При ремонтах часто приходится прибегать к полной замене беличьих клеток с изготовлением новых короткозамыкающих колец. Ниже приводятся общие основные рекомендации по ремонту и модернизации беличьих клеток. Также приводятся соображения по переделке фазовых роторов в короткозамкнутые.

Изготовление короткозамыкающих колец

Медные и латунные кольца для роторов, имеющих окружную скорость выше 50 *м/сек*, должны изготовляться из целого куска металла. Применение сварных колец с одним или двумя стыками допустимо в исключительных случаях (для тонких колец толщиной до 20 *мм*) после проведения поверочного расчета на прочность.

Кольца, работающие при меньшей окружной скорости, могут быть изготовлены сварными, с несколькими стыками, но при условии тщательного выполнения работы квалифицированным сварщиком. Во всех случаях сварки желательна дефектоскопия сварочных швов.

Для изготовления медных колец применяется медь марок М1 и М2 (ГОСТ 859-41).

Для латунных колец наши отечественные электростроительные заводы применяют латуни, характеристики которых приведены в табл. 4-18.

Для медных сварных колец в качестве присадочного материала применяется медная проволока марки М1 или М3, а в качестве флюса — обезвоженная бура (ГОСТ 8429-57).

Для латунных колец присадочным материалом является латунная проволока марки ЛОК59-1-0,3 (СТУ 30533-64), а флюсом — хлористый натрий (ГОСТ 4233-48).

Места стыков кольца должны быть обработаны, как это указано на рис. 4-49.

Непосредственно перед сваркой заготовки колец и присадочные прутки должны быть обезжирены трехчетырехкратным протиранием чистой ветошью, смоченной

Таблица 4-18

Характеристика латуней для короткозамыкающих колец

Материал	Марка	Химический состав, %	
		Медь	Свинец
Латунь	Л62	60,5—63,5	—
Латунь свинцовистая	ЛС59-1	57—60	0,8—1,9
Латунь марганцовистая	ЛМЦ-58-2	57—60	—

Продолжение табл. 4-18

Материал	Химический состав, %			Удельное объемное сопротивление при 20° С, *ом·мм²/м*
	Марганец	Разные примеси	Цинк	
Латунь	—	0,5		0,071
Латунь свинцовистая	—	0,75	Остальное	0,065
Латунь марганцовистая	1—2	1,2		0,108

в авиационном бензине марки Б-70 или ацетоне и протравлены в течение 15—30 *сек* в азотной кислоте концентрации 250—350 *г/л*. После травления заготовки кольца и присадочные материалы должны быть промыты горячей водой.

Сварку медных и латунных колец производят ацетилено-кислородным пламенем. При толщине колец от 15 до

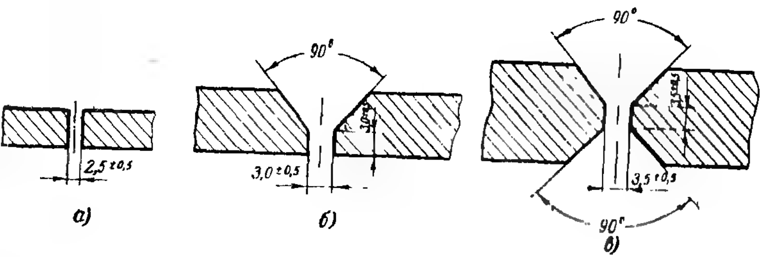


Рис. 4-49. Механическая обработка заготовок короткозамыкающих колец под сварку.

а — заготовки толщиной до 6 *мм*; *б* — то же от 6 до 12 *мм*; *в* — то же больше 12 *мм*.

25 *мм* сварку производят одной горелкой мощностью 2500 *л* ацетилена в час, а при толщине свыше 25 *мм* — двумя такими горелками, причем одна горелка используется непосредственно для сварки, а другая — для подогрева и поддержания температуры заготовки. При толщине колец до 15 *мм* сварку производят одной горелкой мощностью:

для медных колец — из расчета 200 *л* ацетилена в час на 1 *мм* толщины кольца;

для латунных колец — из расчета 130 *л* ацетилена в час на 1 *мм* толщины кольца.

При сварке между краями свариваемых частей должны быть выдержаны зазоры, указанные на рис. 4-49. Для этого внутрь заготовки вставляют планку, которую следует удалить после заварки разделки с одной стороны. Заполнение разделки присадочным металлом следует начинать сразу же после оплавления кромок и довести ее до получения выпуклого шва.

После заварки одной стороны разделки производят подрубку, зачистку и разварку корня первого шва. Аналогичным путем заполняют присадочным металлом вторую и боковые стороны разделки.

Сварочные швы проковывают легким стальным молотком. При проковке подогревают медные кольца до 650° С, а латунные — до 500° С. После проковки разогретые кольца охлаждают: медные быстро — поливом водой, а латунные медленно, при комнатной температуре.

Пайка беличьих клеток

Беличьи клетки роторов электродвигателей, работающих в тяжелых условиях пуска, паяют серебряным припоем марки ПСР-45 или ПСР-25, либо комбинированными припоями — медно-фосфористым марки ПМФ-7 и медно-цинковым марки ЛОК59-1-0,3.

При легких условиях пуска, особенно если кольца и стержни медные, применяется припой ПМФ-7.

Для всех указанных припоев флюсом служит бура, за исключением медно-фосфористого припоя при пайке медных стержней с медными кольцами, когда пайку производят без флюса.

Концы стержней и соответствующие им отверстия в кольцах перед пайкой следует соответственно обработать; в стержнях должны быть зачищены посадочные по-

верхности и сняты фаски для удобства заправки в отверстия колец. Все стержни должны быть выровнены по длине с расчетом, чтобы они выступали после заправки в кольца на 2—3 *мм*. В стержнях бутылочного профиля снимается верхняя прямоугольная часть, а оставшаяся нижняя цилиндрическая часть обрабатывается, как у стержней круглой формы. Концы стержней трапецеидальной формы обрабатываются под прямоугольную форму.

Посадочные поверхности в кольцах должны быть зачищены. С наружной стороны колец отверстия должны быть раззенкованы под размер 1,5 *мм*×45°.

Очень важно правильно выдержать во всех отверстиях зазор между стержнем и стенкой отверстия в кольце. Зазор на сторону должен составлять при пайке серебряным припоем 0,1—0,2, а для медно-фосфористого припоя 0,2—0,5 *мм*.

Перед пайкой стержни и кольца должны быть обезжирены и протравлены указанными выше способами.

Пайку производят ацетилено-кислородным пламенем двумя горелками мощностью по 2000 *л* в час. Одна из горелок используется непосредственно для пайки, а другая — для подогрева и поддержания температуры кольца и концов стержней.

Для получения надежного соединения рекомендуется придерживаться следующих правил:

1. Ротор под пайку устанавливают горизонтально при стержнях прямоугольного сечения и вертикально при круглых стержнях.

2. После общего разогрева кольца и стержней расплавление припоя производят путем касания прутком наиболее нагретых мест пайки на наружной поверхности кольца. Не допускается плавление припоя в самом пламени.

3. Горелка с пламенем все время должна находиться в движении, а спаиваемые поверхности периодически посыпаться флюсом.

4. Пайку стержней ведут в следующей последовательности: припаивают два диаметрально противоположных стержня, затем следующую пару стержней, сдвинутую относительно первой на угол 90°, и т. д. пока не будут запаяны все стержни на одном кольце.

5. По окончании пайки всех соединений места пайки зачищают, опиливают или аккуратно срубают наплывы припоя.

6. При комбинированной пайке медно-цинковым и медно-фосфористым припоями пайку начинают со стороны раззенковки на наружной поверхности кольца медно-цинковым припоем. Сама раззенковка делается более глубокой, чем при пайке припоем одной марки, — размером 3 *мм*×45°. Припой должен полностью заполнить полость раззенковки. После выполнения пайки со стороны раззенковок ротор поворачивают и паяют медно-фосфористым припоем с внутренней стороны короткозамыкающего кольца.

Перепайка соединений между кольцами и стержнями

Необходимость в перепайке соединений возникает, помимо случаев ремонта беличьих клеток, связанных с заменой поврежденных или оборвавшихся стержней, при полном видимом нарушении паек, а также при их частичном нарушении, судить о которых можно по следам перегрева — появлению цветов побежалости, темных пятен и окалины. Особым случаем, когда перепаиваются совершенно хорошие соединения, является ремонт двухклеточных роторов (например, типа АТМ). При необходимости ремонта внутренней рабочей клетки приходится распаивать короткозамыкающее кольцо наружной пусковой клетки, после чего становится доступной поврежденная рабочая клетка. По окончании ремонта вновь устанавливается и пропаивается короткозамыкающее кольцо пусковой клетки.

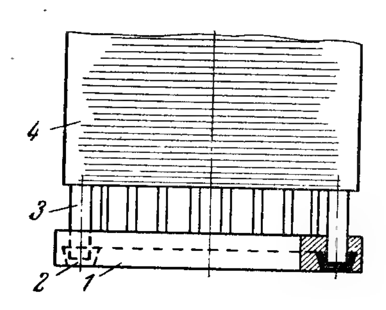


Рис. 4-50. Пайка стержней с кольцом.

1 — короткозамыкающее кольцо; *2* — кольцевая форма под «ласточкин хвост»; *3* — стержни; *4* — сердечник ротора.

Во всех случаях перепайки концы стержней и посадочные поверхности в кольцах должны обрабатываться аналогично тому, как это было указано для предыдущего вида ремонта при пайке новых деталей.

Зенковку отверстий с наружной стороны колец делают глубокой, как для комбинированной пайки медно-фосфористым и медно-цинковым припоем.

Как правило, при механической обработке стержней и отверстий в кольцах зазор между ними не удается сохранить на уровне рекомендованного при пайке новых деталей, и он может доходить до 0,5—0,6 *мм* на сторону.

Чтобы припой не утекал через этот сравнительно большой зазор, применяют комбинированную пайку серебряным припоем и латунью. Для этого ротор устанавливают в вертикальном положении и латунью заплавляют гнезда, образованные раззенковкой отверстий. При этом латунь образует «пробку» на внешней стороне короткозамыкающего кольца. Затем ротор поворачивают и пропаивают соединения с внутренней стороны кольца, заливая в зазор между стержнями и кольцом припой ПСР-45. Для роторов электродвигателей со сравнительно легкими условиями пуска допустимо применение вместо серебряного медно-фосфористого припоя ПМФ-7.

Очень прочное сопряжение медных стержней со стальными кольцами получают при их соединении, как это указано на рис. 4-50. Для этого на наружной стороне кольца по всей его окружности выбирается паз в виде ласточкина хвоста, который после сборки кольца со стержнями заплавляют латунью.

Перевод двухклеточных роторов электродвигателей типа АТМ на одноклеточное исполнение

Как указывалось выше, для ликвидации даже незначительных повреждений нижней клетки необходимо

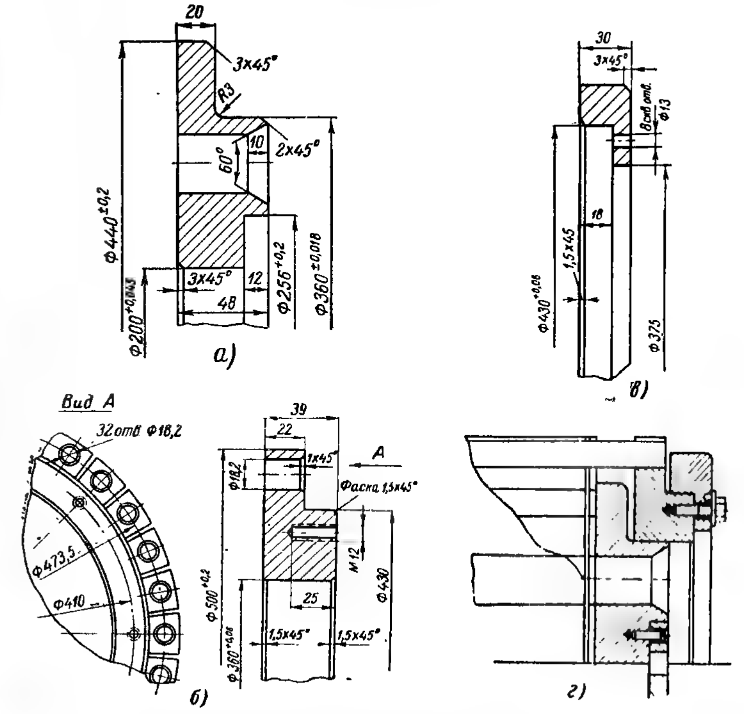


Рис. 4-51. Реконструкция двухклеточного ротора типа АТМ в одноклеточный.

14—2535

произвести распайку и демонтаж короткозамыкающих колец с их последующей установкой и пайкой по окончании ремонта нижней клетки. Поэтому в случаях, когда возможно некоторое снижение пускового момента, целесообразно реконструировать ротор электродвигателя, переведя его на одноклеточное исполнение.

Способ переделки двигателей типа АТМ 1-го габарита (АТМ-500, АТМ-700, АТМ-850) разработан заводом-изготовителем «Электросила» и состоит из следующих операций.

1. Демонтаж верхней клетки, для чего короткозамыкающие кольца срезают на токарном станке и выбивают стержни.

2. Распайка и удаление медных стержней нижней клетки.

3. Проточка нажимных колец до размеров, указанных на рис. 4-51,*а*.

4. Изготовление новых деталей:

а) двух короткозамыкающих медных колец (рис. 4-51,*б*);

б) 32 медных стержней верхней клетки диаметром 18 *мм*, длиной 625 *мм* для АТМ-850, 550 *мм* — для АТМ-700 и 450 *мм* для АТМ-500;

в) двух стальных бандажных колец из стали марки Ст. 45 (рис. 4-51,*в*);

г) 16 болтов М12 длиной 30 *мм*, крепящих бандажные кольца к короткозамыкающим.

5. Сборка и пайка беличьей клетки (рис. 4-51,*г*).

Предотвращение проворачивания короткозамыкающих колец роторов электродвигателей типа КАМО-350-2

Для предотвращения проворачивания короткозамыкающих колец относительно бочки ротора завод-изготовитель рекомендует при ремонте связать замыкающее кольцо с нажимной шайбой с помощью двух фиксирующих, диаметрально расположенных шпонок в виде специальных пластин, привариваемых к нажимным плитам ротора. Конструкция узла короткозамыкающих колец асинхронного двигателя типа КАМО-350-2 и расположение приваренных шпоночных пластин показаны на рис. 4-52,*а*; на рис. 4-52,*б* изображена сама шпоночная пластина.

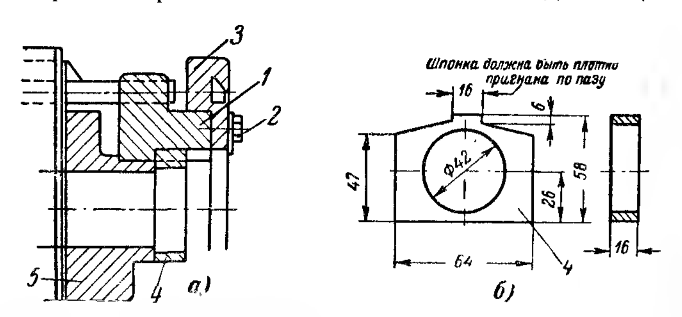


Рис. 4-52. Реконструкция ротора электродвигателя типа КАМО-350-2.

Фиксирование короткозамыкающих колец от проворота выполняется в следующей последовательности:

1. В каждом короткозамыкающем кольце *1* выбирается по два диаметрально расположенных шпоночных паза размером 6,5×16 *мм*; при выборке пазов следует бандажные кольца *3* снять, вывинтив предварительно болты *2*.

2. Изготовляются четыре шпоночные пластины; размеры каждой шпонки тщательно подгоняются по размерам соответствующего шпоночного паза в короткозамыкающих кольцах.

3. После подгонки шпоночные пластины *4* устанавливаются по месту и привариваются по контуру качественным швом к нажимной плите *5*.

Модернизация беличьих клеток роторов типа ГАМО

Повреждения беличьих клеток глубокопазных роторов, заключающиеся в разрыве стержней около места их соединения с короткозамыкающими кольцами,

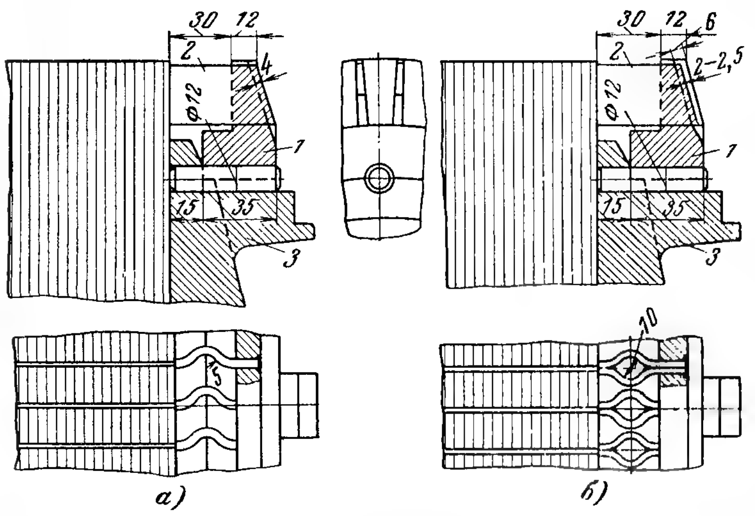


Рис. 4-53. Усовершенствование конструкции обмотки ротора двигателя серии ГАМО.

а — исполнение с одинарными тонкими стержнями; *б* — исполнение с двойными стержнями толщиной 4 *мм* и более; *1* — кольцо; *2* — стержень обмотки; *3* — нажимная шайба.

довольно часты. По данным некоторых авторов [Л. 3], по указанной причине роторы электродвигателей типа ГАМО повреждались через 8—10 мес. эксплуатации.

Работниками электроремонтного цеха Кузнецкого металлургического комбината была разработана удачная конструкция переделки беличьих клеток, при которой срок службы роторов увеличился в 2—3 раза. Переделка заключается в том, что стержни по выходе из пазов сердечника изгибаются по радиусу, образуя своего рода компенсаторы (рис. 4-53).

Криволинейная форма концов стержней значительно снижает действие сил, стремящихся сместить стержни по отношению к кольцу и тем самым резко уменьшает возможность их отрыва от кольца. При переделке клетки между нажимной шайбой и короткозамыкающим кольцом устанавливаются фиксирующие штифты, предотвращающие возможность проворачивания кольца.

Частичный ремонт литых алюминиевых беличьих клеток

Местные наружные повреждения беличьих клеток — надломы и трещины в замыкающих кольцах и стержнях — ремонтируются путем заливки поврежденных мест припоем, состоящим из 67% алюминия, 21% олова и 12% меди. Температура плавления припоя около 380° С.

Поврежденные участки должны быть подрублены под «ласточкин хвост», очищены и обезжирены трех-четырехкратной протиркой ветошью, смоченной в чистом авиационном бензине или ацетоне.

При пайке ротор располагается таким образом, чтобы запаиваемое место находилось в горизонтальной плоскости. Весь ремонтируемый участок разогревается паяльной лампой до 400—450° С. Эта температура должна поддерживаться в течение всего времени пайки, которая производится путем периодического прикосновения палочки припоя к ремонтируемому месту.

При значительных повреждениях обмотки ротора — разрыве стержней в пазах или поломке замыкающего кольца — беличью клетку приходится полностью заменять. Старая алюминиевая обмотка удаляется либо выплавкой при подогреве всего ротора до 700—750° С, либо химическим способом — погружением в ванну с 40—

50%-ным раствором каустической соды, в котором алюминий растворяется. Этот способ является предпочтительным, так как при удалении обмотки способом выплавки может деформироваться сам сердечник ротора. В зависимости от наличия оборудования новая беличья клетка может быть отлита одним из описанных выше способов — статическим или вибрационным.

Чтобы сохранить величину сопротивления обмотки ротора и пускового момента электродвигателя на заводском уровне, следует произвести лабораторный анализ выплавляемого алюминиевого сплава и соответственно этому подобрать новый сплав. Обычно для заливки роторов применяется алюминиево-марганцовистый сплав с содержанием 2—3% марганца. Увеличение содержания марганца повышает удельное сопротивление сплава, но резко ухудшает его механические свойства.

Использование выплавленного алюминия не рекомендуется: при повторном использовании резко снижается его пластичность.

При отсутствии оборудования для заливки беличьей клетки иногда новую клетку изготовляют сварной из меди или латуни. Недостатком этого является ухудшение пускового момента из-за меньшего сопротивления медной или латунной обмотки по сравнению с алюминиевой. Чтобы по возможности уравнять сопротивление обмоток, иногда в пазы вместе с медными или алюминиевыми стержнями закладывают стальные пластины.

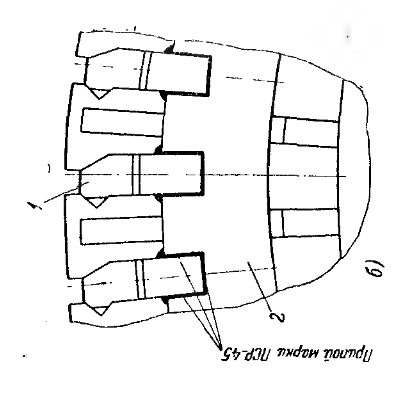
Переделка фазовых роторов в короткозамкнутые

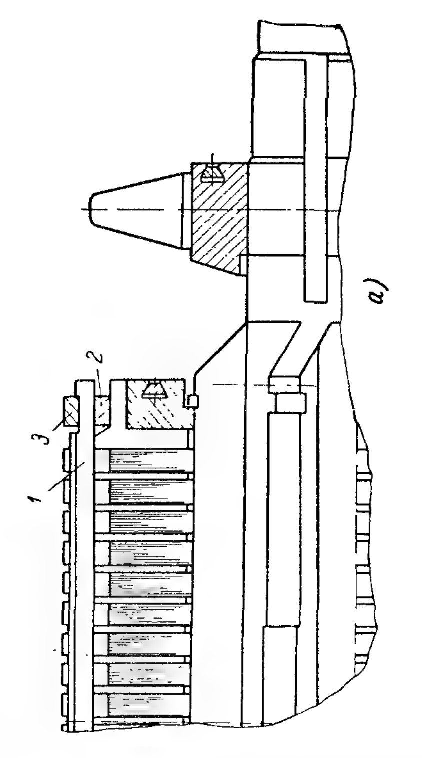
Каждая переделка фазового ротора в короткозамкнутый носит индивидуальный характер, зависящий как от требований, предъявляемых к электродвигателю после его переделки, так и от конструкции фазового ротора. Переделка возможна при допустимом соотношении числа пазов статора и ротора, согласно формулам (3-45).

Применительно к пусковому и рабочему режимам выбирается материал стержней и замыкающих колец.

Во многих случаях реконструкция ротора предусматривается с использованием старых стержней фазовой обмотки с уплотнением их в пазу различного рода прокладками.

При применении новых стержней их сечение может быть значительно больше, чем суммарное сечение всех





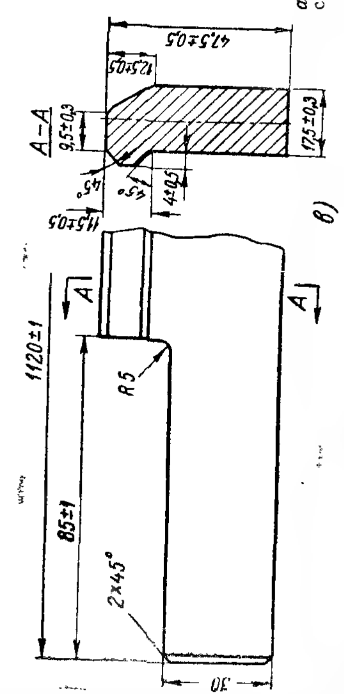
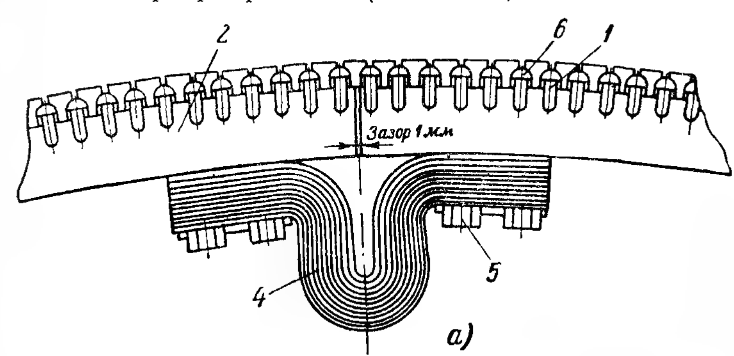


Рис. 4-54. Ротор типа АЗ-4500-1500.

а — общий вид; *б* — размещение стержня в пазу ротора и соединение его с короткозамыкающим кольцом; *в* — стержень.

проводов, уложенных в паз при фазовом исполнении ротора. Используется место, занимаемое ранее витковой и корпусной изоляцией стержней, а также занимаемое клином, надобность в котором отпадает. Для иллюстрации конструктивных решений при переделке фазовых роторов приводится описание этих переделок, выполненных специализированным электроремонтным предприятием «Электропромремонт» (г. Москва).



На рис. 4-54,*а* представлен переделанный из ротора с контактными кольцами короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя типа АЗ-4500-1500, 4 500 *квт*, 6 000 *в*, 1 500 *об/мин*.

Стержни *1* и короткозамыкающие кольца *2* выполнены из латуни. Латунь для стержней выбрана из условий обеспечения повышенного пускового момента, а для колец из условия наиболее технологичного соединения однородных металлов стержней и колец. Пайка стержней с короткозамыкающими кольцами выполнена серебряным припоем ПСР-45.

Стальные бандажные кольца *3* предохраняют обмотку ротора от разрушения в результате больших механических напряжений, возникающих при работе электродвигателя.

На рис. 4-55 представлены детали конструкции беличьей клетки ротора, переделанного из электродвигателя с контактными кольцами 427 *квт*, 6 000 *в*, 145 *об/мин*.

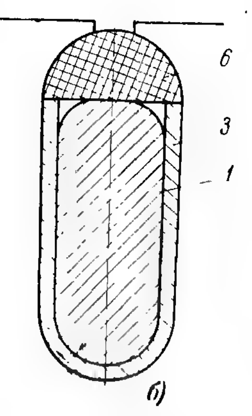


Рис. 4-55. Детали беличьей клетки.

а — соединение сегментов короткозамыкающего кольца при помощи компенсаторов; *б* — заполнение паза ротора.

Для стержней *1* беличьей клетки использованы старые стержни обмотки ротора с контактными кольцами. Вместо слюдяной изоляции стержней в паз вставлена стальная коробочка *3*. Крепление стержня и коробочки в пазу осуществляется текстолитовым клином *6*.

Медное короткозамыкающее кольцо 2 диаметром около 2 *м* состоит из нескольких сегментов, спаянных серебряным припоем. В четырех местах соединение сегментов короткозамыкающего кольца осуществлено с помощью компенсаторов 4, набранных из медных пластин толщиной 2 *мм*. Концы пакетов скреплены медными заклепками. Компенсаторы крепятся к короткозамыкающим сегментам болтами 5. После закрепления компенсаторов концы пакетов пропаивают серебряным припоем, одновременно пропаивается место контакта компенсаторов с сегментами. В местах установки компенсаторов между соседними короткозамыкающими сегментами оставляют зазор около 1 *мм*, который обеспечивает свободное удлинение частей короткозамыкающего кольца от действия высоких температур, возникающих главным образом в процессе пуска двигателя.

Часто подвергаются переделке в короткозамкнутое исполнение роторы двигателей типов АМО, ФАМСО мощностью 100—500 *квт*. При переделке этих двигателей ротор, как правило, снабжают двумя беличьими клетками. Внутренняя клетка обычно выполняется из медных стержней и медных колец, наружная — из медных стержней и стальных или медных колец.

Расположение колец и вылетов стержней может быть выполнено, как показано на рис. 4-56. Расположение колец и вылетов стержней по рис. 4-56,*а* и *б* обеспечивает доступ к местам пайки колец со стержнями и дает возможность производить ремонт (пропайку) рабочей клетки без разборки пусковой клетки. Концентрическое

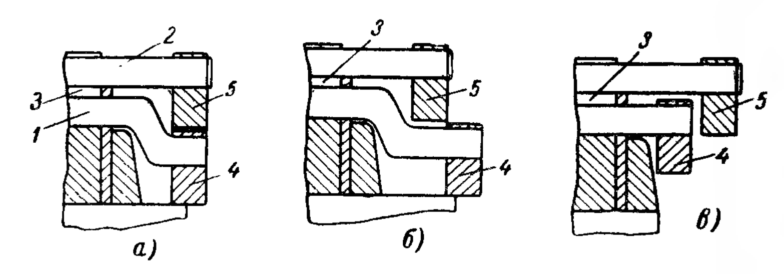


Рис. 4-56. Расположение короткозамыкающих колец.

1 — стержень рабочей клетки; *2* — стержень пусковой клетки; *3* — стальная прокладка; *4* — кольцо рабочей клетки; *5* — кольцо пусковой клетки.

расположение колец по рис. 4-56,*а* облегчает их центровку при сборке. Однако при расположении колец по рис. 4-56,*б* их можно обработать после пайки на станке за один прием, а при расположении колец по рис. 4-56,*а* ротор надо ставить на станок 2 раза.

Возможно также расположение колец, показанное на рис. 4-56,*в*. Такая конструкция несколько проще, так как при этом нет надобности изгибать стержни рабочей клетки. Однако при данной конструкции нельзя произвести ремонт рабочей клетки без полной разборки пусковой клетки. Поэтому рекомендуется располагать кольца согласно рис. 4-56,*а* и *б*.

Глава пятая

РЕМОНТ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ

Наряду с перемоткой обмоток электродвигателей встречается необходимость в ремонте его механических частей: активной стали, подшипниковых щитов, станин, валов, вентиляторов, подшипников, контактных колец.

Для выполнения этих работ в структуре специализированных электроремонтных заводов предусматриваются цехи или участки, оснащенные металлообрабатывающим, электросварочным и другим оборудованием, необходимым для ремонта указанных частей электродвигателя. В электроремонтных цехах промышленных предприятий при небольшом количестве ремонтируемых электродвигателей выполнение механических работ обычно производится цехами предприятия, занимающимися ремонтом основного, технологического оборудования.

Ниже приводится описание конструкции основных механических узлов электродвигателей, виды неисправностей и способы ремонта.

5-1. РЕМОНТ АКТИВНОЙ СТАЛИ

Сердечники активной стали асинхронных двигателей набираются из листов электротехнической стали, толщина которых в большинстве случаев составляет 0,5 *мм*. Торцевые листы сердечников делаются утолщенными или образуются путем точечной сварки двух тонких листов.

В современных электродвигателях листы стали изолируются друг от друга лаковой пленкой. Для сердечников роторов применяется оксидная межлистовая изоляция, образуемая пленкой окисла железа при нагревании листов в окислительной среде.

В электродвигателях старых выпусков изоляция осуществлялась путем обклейки листов тонкой бумагой.

Сердечники статоров электродвигателей малых мощностей набираются, спрессовываются и скрепляются скобами вне станины и после укладки в них обмотки впрессовываются в станину. В некоторых конструкциях вместо запрессовки в станину сердечник заливается алюминиевой оболочкой.

Сердечники статоров электродвигателей средней и большой мощности набираются в самой станине из целых листов или отдельных сегментов и после прессовки закрепляются в станине нажимными шайбами. В некоторых крупных электродвигателях прессовка и закрепление стали производится стяжными болтами. В сердечниках роторов листы стали насаживаются либо непосредственно на вал, либо на промежуточную втулку или ребра, расположенные между активной сталью и валом. Так же как для сердечников статоров, листы стали удерживаются в роторах при помощи нажимных шайб.

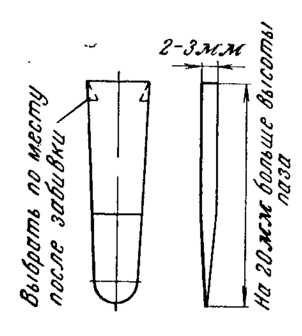


Рис. 5-1. Уплотняющий клин.

При ремонтах электродвигателей, связанных с заменой обмотки, ее укладка может производиться только после проверки и устранения обнаруженных неисправностей активной стали. После укладки устранение даже мелких дефектов стали недопустимо, так как это может привести к повреждению изоляции обмоток.

Основные неисправности сердечников следующие: ослабление прессовки, распушение крайних пакетов (образование «веера»), оплавление отдельных участков стали, нарушение межлистовой изоляции.

Ослабление прессовки. Активная сталь должна быть спрессована так плотно, чтобы сила трения между ее отдельными листами исключала возможность какого-либо, даже незначительного, перемещения одного листа по отношению к другому. При хорошей запрессовке пакетов лезвие перочинного ножа под нажимом руки не должно заходить между отдельными листами стали. Ослабление прессовки при работе машины вызывает специфический шум, а сильное ослабление может вызвать вибрацию электродвигателя.

При разборке машины перед ремонтом и осмотре состояния активной стали ослабленная прессовка выявляется наличием ржавых пятен на ее поверхности. Такое ржавление распространяется только на участки с пониженной прессовкой и является результатом так называемой контактной коррозии, которой подвергаются поверхности стальных листов и деталей, перемещающихся относительно друг друга.

При недостаточной плотности прессовки вибрация отдельных листов стали приводит к разрушению межлистовой изоляции и поломке незажатых стальных листов, смежных с вентиляционными каналами. Отломанные части зубцов могут повредить изоляцию и активную сталь.

Значительная вибрация стали в зубцовой зоне представляет особую опасность для изоляции обмотки, так как может вызвать ее истирание в местах, прилегающих к вибрирующим участкам. Поэтому перед укладкой обмоток, безусловно, должна быть восстановлена достаточная прессовка стали.

Рис. 5-2. Установка уплотняющего клина.
1 — нажимная шайба; 2 — уплотняющий клин.

Так как ослабление прессовки чаще всего наблюдается в зубцовой зоне, иногда достаточно в места с ослабленной прессовкой плотно забить текстолитовые или гетинаксовые уплотняющие клинья, размеры которых должны соответствовать размерам зубца (рис. 5-1).

При забивке клинья заглубляются на 2—3 *мм* ниже поверхности стали. Для предохранения клиньев от выпадания на них отгибаются соприкасающиеся края зубцов (рис. 5-2).

После забивки уплотняющих клиньев сталь должна быть покрыта изоляционным лаком. При последующих ревизии и осмотре стали сохранность этой пленки поможет убедиться в отсутствии на отремонтированных участках контактной коррозии.

Наличие коррозии на отлакированной поверхности определит необходимость дополнительного уплотнения стали

Описанный способ ремонта при местном ослаблении прессовки стали пригоден для статоров и роторов при окружной скорости вращения, не превышающей 20 *м/сек*.

При креплении нажимных шайб с помощью сварки или шпонок для уплотнения стали приходится удалять нажимную шайбу, подкладывать под нее листы электрокартона или асбеста, вырезанные по форме листов стали, вновь накладывать и закреплять шайбу.

Часто при ослаблении прессовки имеет место так называемая «гармошка» пакетов стали, при которой отдельные листы стали смещаются в тангенциальном

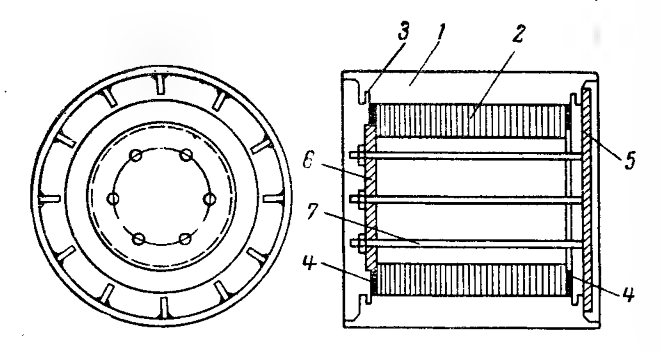


Рис. 5-3. Опрессовка активной стали.

1 — корпус; *2* — активная сталь; *3* — гнездо для стопора или замкового кольца; *4* — нажимная шайба; *5* — нажимная опорная плита; *6* — верхняя опорная плита; *7* — стяжные болты.

направлении и зубцы частично заходят в пазы.

Выправление выступающих в пазы зубцов производится стальными оправками, описание которых дано ниже (рис. 5-14).

Сжатие листов стали производится путем создания давления на них в 10—12 $кГ/см^2$. Приспособление для опрессовки стали приведено на рис. 5-3.

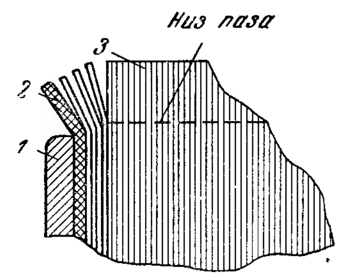


Рис. 5-4. Распушение (веер) сердечника.

1 — нажимная шайба; *2* — утолщенный лист стали; *3* — листы сердечника.

Распушение крайних пакетов. Если нажимные шайбы и крайние листы сердечника недостаточно жестки, то на краях сердечника зубцы расходятся, образуя так называемый «веер» (рис. 5-4).

Более совершенными являются конструкции крепления стали, в которых на торцах сердечника зубцы удерживаются от изгибания дополнительными «пальцами», приваренными к нажимной шайбе, или к утолщенному крайнему листу стали, либо составляют одно целое с нажимной шайбой. Одна из конструкций, в которой нажимная шайба имеет зубцы, играющие роль «пальцев», приведена на рис. 5-5. Образование веера при таких конструкциях практически не наблюдается.

Распушение крайних листов, так же как общее ослабление прессовки стали, представляет значительную опасность, так как незакрепленные зубцы начинают вибрировать, перетирая изоляцию катушек в местах выхода их из пазов.

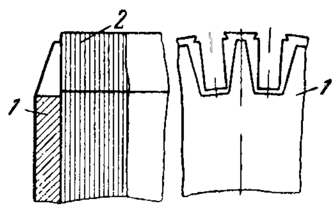


Рис. 5-5. Крепление зубцов нажимной шайбой, имеющей «пальцы».

1 — нажимная шайба; *2* — листы сердечника.

У электродвигателей малой мощности распушение крайних листов можно устранить пропиловкой наклонных пазов в зубцах и проваркой этих пазов тонким сварочным швом. При пропиловке и проварке зубцов необходимо сжать сердечник в в зубцовой зоне временными кольцами, как это указано на рис. 5-6, а после проварки запилить швы заодно с поверхностью расточки.

Для электродвигателей большой мощности, имеющих относительно высокие зубцы, указанный способ ремонта не применяется, так как, с одной стороны, он не обеспечивает прочного и надежного скрепления листов, а с другой стороны, это соединение создает замкнутые контуры для протекания вихревых токов, что представляет определенную опасность из-за возможных местных высоких перегревов стали.

Рис. 5-6. Сварка крайних листов стали.

1 — нажимная шайба; *2* — листы сердечника; *3* — сварочный шов; *4* — временное кольцо.

Наиболее надежным способом ремонта является установка дополнительной шайбы с зубцами (рис. 5-7) или заложение и закрепление отдельных пальцев между сердечником и существующей нажимной шайбой (рис. 5-8).

Указанные способы ремонта возможны при распрессовке сердечника и связанной с этим частичной или полной перешихтовкой стали, а также с переизолировкой листов активной стали.

Оплавление отдельных участков стали. Повреждение обмоток статора, сопровождающееся возникновением электрической дуги, а также попадание в расточку посторонних металлических предметов могут вызвать местное оплавление и повреждение участка активной стали.

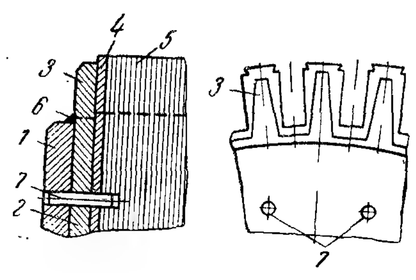


Рис. 5-7. Установка дополнительной шайбы с зубцами.

1 — основная нажимная шайба; *2* — дополнительная нажимная шайба; *3* — зубец (палец) дополнительной шайбы; *4* — утолщенный лист; *5* — листы сердечника; *6* — сварочный шов; *7* — стальной штифт.

На рис. 5-9 схематически показано оплавленное место, где в видимой зоне листы сплавлены между собой, а повреждение межлистовой изоляции находится на 10—15 *мм* ниже этой видимой зоны оплавления. Во время ремонта вся поврежденная зона должна быть вырублена так, чтобы не осталось сплавленных между собой листов. Для удаления заусенцев между листами поверхность вырубленной зоны обрабатывается острым шабером.

При ремонте листы раздвигаются отверткой или ножом и между ними на глубину 10—15 *мм* закладываются пластинки из слюды толщиной 0,05—0,07 *мм*. После установки пластинок отремонтированный участок стали покрывается лаком БТ-99.

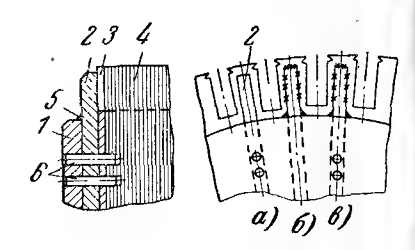


Рис. 5-8. Способы крепления пальцев.

1 — нажимная шайба; *2* — палец; *3* — утолщенный лист; *4* — листы сердечника; *5* — сварочный шов; *6* — стальной штифт.
Крепление пальцев:
а — штифтами;
б — сваркой;
в — штифтами и сваркой.

Если поврежденный участок стали находится в пазу, то для предотвращения вспучивания обмотки вырубленная полость заполняется специальной замазкой или прокладками из текстолита, гетинакса или миканита. Если зона повреждения значительна, иногда приходится обрубать целиком зубец на длину 1—2 пакетов. В этом случае вырубленные зубцы должны быть заменены заполнителем из текстолита или гетинакса (рис. 5-10). Заполнитель нужно тщательно подогнать по месту, чтобы он плотно лежал между обмоткой и сталью. Какого-

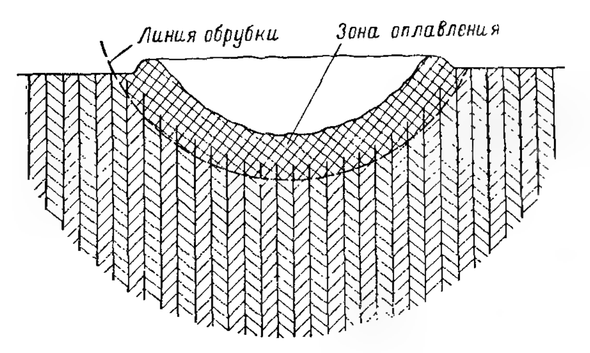


Рис. 5-9. Оплавление активной стали.

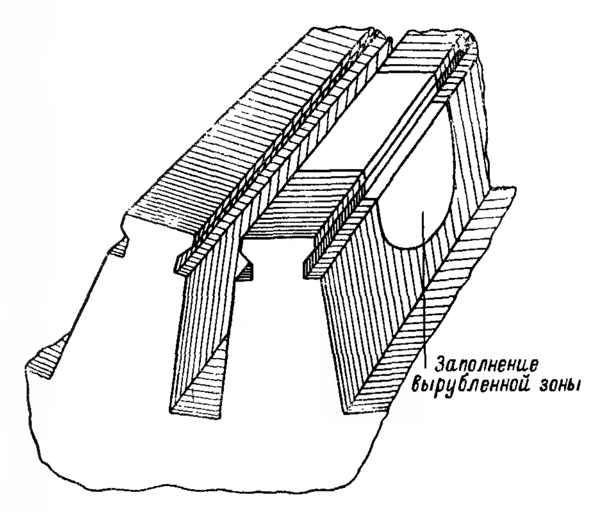


Рис. 5-10. Установка заполнителя взамен вырубленного зубца.

либо специального крепления заполнителя не требуется, так как клинообразная форма препятствует выпаданию его из обмотки. Кроме того, пазовые клинья создают дополнительное крепление заполнителя.

Следует отметить, что выплавление больших объемов стали и повреждение межлистовой изоляции в больших пределах могут потребовать полной перешихтовки активной стали с переизолировкой всех листов и равномерным распределением поврежденных листов по всему сердечнику.

Нарушение межлистовой изоляции. Нарушение межлистовой изоляции сердечника может явиться результатом ее естественного старения при длительном сроке изоляции, а также произойти из-за чрезмерного перегрева сердечника.

Переизолировка и связанная с ней перешихтовка листов активной стали являются наиболее трудоемкими ремонтными операциями, для выполнения которых требуются специальные приспособления. Обычно переизолировка и перешихтовка активной стали производится на электромашиностроительных заводах. Во внезаводских условиях стоимость такого ремонта стали может превысить стоимость нового электродвигателя. Поэтому в каждом отдельном случае следует обосновать экономическую целесообразность ремонта.

Вне зависимости от вида изоляции в заводском исполнении изолировка листов при ремонте производится электроизоляционным лаком.

Технология расшихтовки, переизолировки и последующей шихтовки листов стали зависят от ряда факторов: способа закрепления сердечника в станине, вида межлистовой изоляции в заводском исполнении, формы и размеров листов и др. Поэтому ниже даются только общие рекомендации по ремонту стали.

Процесс ремонта. 1. Составить эскиз сердечника с указанием:

а) диаметра расточки в трех сечениях статора — посередине и на расстоянии 20—30 *мм* от торцов. В каждом сечении замер производится в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью штихмаса с микрометрической головкой;

б) размеров отдельных пакетов, учитывая, что сердечник может комплектоваться из пакетов разного размера;

в) системы крепления сердечника в станине и расположения деталей крепления.

2. Установить статор торцом на плиту или шпальную выкладку таким образом, чтобы стяжные шпильки были доступны снизу, а съемная нажимная шайба находилась сверху. На рис. 5-11 приведена примерная установка статора для распрессовки и последующей прессовки стали с помощью шпилек. При ремонте во внезаводских условиях этот способ прессовки является наиболее употребительным.

3. Промаркировать все детали крепления и их положение на статоре. Подтянуть гайки *6* прессующих шпилек *4*, удалить крепления, удерживающие нажимную шайбу, и снять нажимную шайбу. Снять лист с нажимными пальцами. Разобрать сталь первого пакета. При разборке составить эскиз укладки сегментов в слое и положения стыков сегментов относительно направляющих планок корпуса статора. Сталь пакета складывать в пачки весом 5—10 *кг*. При наличии повреждений листов устранить их. При невозможности

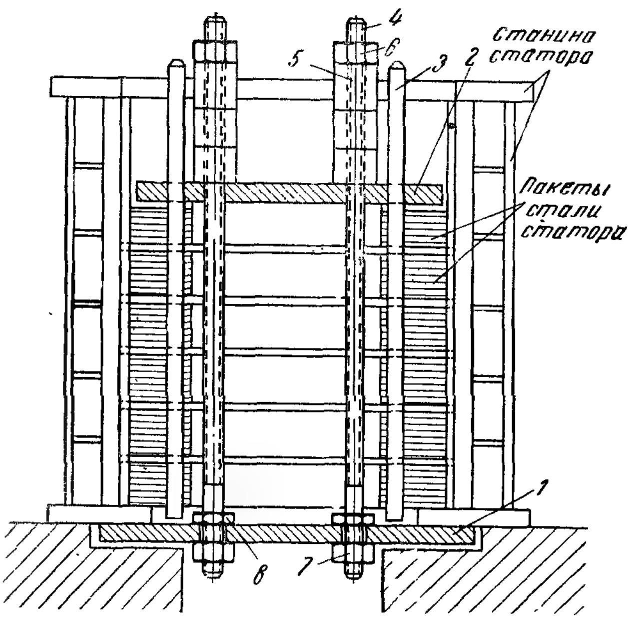


Рис. 5-11. Установка статора и расположение приспособлений для прессовки стали.

1 — нижняя нажимная шайба; *2* — верхняя нажимная шайба; *3* — пазовая линейка; *4* — прессующая шпилька; *5* — подкладная втулка; *6* — прессующая гайка; *7* — гайка; *8* — контргайка.

исправить листы откладывать их в отдельное место. Заусенцы, обнаруженные в отдельных местах, снять с помощью шлифовального круга или слесарной пилы. При наличии в пакете прокладок из электрокартона или других изоляционных материалов записать их размеры и положение в пакете.

В таком же порядке разобрать все остальные пакеты сердечника.

4. Произвести очистку листов от старой изоляции.

Очистку от лаковой изоляции можно производить стальными щетками, кардолентой, пескоструйным аппаратом или с помощью водного 10%-ного раствора едкого натра (в 1 *л* раствора может быть удалена изоляция с листов толщиной 0,5 *мм*, весом 2 *кг*) или

15%-ного раствора тринатрийфосфата (в 1 *л* раствора может быть удалена изоляция с листов толщиной 0,5 *мм*, весом 0,6 *кг*).

В связи с большой токсичностью едкого натра и тринатрийфосфата их растворение в воде должно производиться с большой осторожностью в резиновых перчатках, фартуках, закрытой обуви и в защитных очках. Едкий натр или тринатрийфосфат следует вводить в ванну с водой, подогретой до 50° С, небольшими порциями и после введения каждой порции перемешивать воду без образования брызг до полного растворения химиката. Для очистки листов их следует установить или подвесить в вертикальном положении в сетках (контейнерах), погрузить сетки в ванну с раствором, выдержать в ванне до полного удаления лаковой пленки, после чего перенести сетки в ванну с горячей проточной водой и промыть в течение 5—10 *мин*. После промывки сетки (контейнеры) с листами просушиваются в печи до полного удаления влаги.

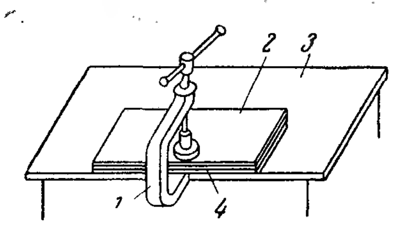


Рис. 5-12. Приспособление для измерения толщины лаковой пленки.

1 — струбцина для сжатия пакета листов; *2* — листы стали; *3* — стол; *4* — измеряемая величина.

Для очистки от бумажной изоляции листы погружают в ванну с горячей водой и выдерживают в ней до полного удаления бумаги и клея.

Во избежание коррозирования очищенные от изоляции листы необходимо немедленно лакировать.

5. Уложить листы на стол и покрыть лаком 202 или 302. Покрытие должно быть равномерным, производить его следует резиновым типографским валиком. Толщина наносимого слоя подбирается опытным путем. После запечки лаковая пленка должна быть в пределах 0,013—0,02 *мм* и близкой к толщине пленки в заводском исполнении. Проверка толщины пленки производится специальным приспособлением (рис. 5-12) путем измерения зажатого пакета из 50 листов стали до и после лакирования.

6. Покрытые лаком листы подвесить в тележке (рис. 5-13) и запечь в электропечи при 200—220° С ориентировочно в течение 12—20 *мин* (точное время устанавливается на опытных образцах).

Изменяя вязкость лака, температуру и время запечки, следует добиться, чтобы лаковая пленка была ровной, блестящей, без пузырей и наплывов, а сопротивление изоляции постоянному току в пачке из 20 листов площадью 1 *дм*², сжатой при давлении 6 *кГ/см*², было не менее 50 *ом*.

7. В случае, если пресс-шпильки *4* (рис. 5-11) были удалены при расшихтовке листов, установить их вновь и закрепить. Уложить на нижнюю нажимную шайбу *1* листы или сегменты с нажимными пальцами в соответствии с маркировкой до разборки стали. Уложить все листы или сегменты первого пакета. Последним укладывать слой с ветряницами. После сборки первого пакета пройти пазы стальной оправкой (рис. 5-14). Установить в пазы первого пакета стальные пазовые линейки *3* (рис. 5-11), сечение которых должно быть таким же, как сечение оправки в ее рабочей части. Линейки

установить равномерно через 10—12 пазов при дисковой штамповке листов и не менее 2 шт. на сегмент при сегментной штамповке.

Укладывать второй и все последующие пакеты аналогично первому.

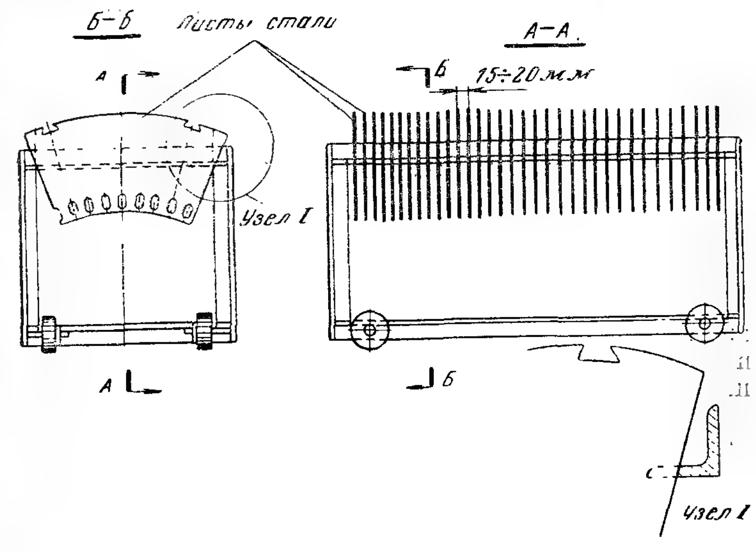


Рис. 5-13. Тележка для подвески листов стали.

8. При сборке сердечника стали статора с осевым размером более 500 *мм* производить промежуточные прессовки через каждые 200—250 *мм*, измеряя при этом толщину отдельных пакетов и сравнивая ее с замерами, произведенными до расшихтовки. Давление при прессовке лакированной стали должно быть 10—12 *кГ/см*². При прессовке следить за правильным положением нажимной шайбы *2* (рис. 5-11).

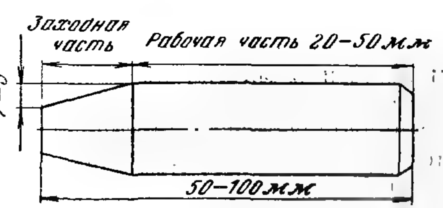


Рис. 5-14. Оправка для пазов.

Размеры по пазу с допуском по высоте и ширине 0,1 *мм*.

По окончании сборки стали сначала установить диск или сегменты с нажимными пальцами, затем нажимную шайбу. Последнюю прессовку вести до совпадения положения нажимной шайбы с риской, отмеченной при маркировке до расшихтовки. Закрепить нажимную шайбу шпонками или постоянными стяжными шпильками. Установку этих шпилек производить попарно во взаимно перпендикулярных направлениях двух пар между собой. В случае, если стяжные шпильки проходят внутри стали, их следует изолировать микафолием или электрокартоном.

При установке стяжных шпилек поставить на место изоляционные прокладки под шайбы.

9. По окончании перешихтовки удалить из пазов направляющие линейки, продуть пазы сжатым воздухом, осмотреть пакеты, при необходимости проверить пазы оправкой (рис. 5-14). Проверить качество прессовки. Покрыть расточку статора в горячем состоянии лаком 462. Снять статор с временной шпальной выкладки. Испытать активную сталь для проверки отсутствия замыкания между листами и определить величину потерь при индукции в спинке, равной 1 *тл*.

5-2. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВЫХ ЩИТОВ

Подшипниковые торцовые щиты являются одновременно опорой для вала и защитой лобовых частей обмоток от внешних воздействий.

Для электродвигателей мощностью до 100 *квт* общепромышленного применения щиты выполняются преимущественно литыми — чугунными. Сложная конфигурация щитов, резкие переходы толстостенных и тонкостенных участков, наличие внутренних полостей для масляных камер ограничивают применение сварных щитов из листовой стали. Применяются такие щиты только для крупных электродвигателей. Для электродвигателей малой мощности наряду с литыми применяются также штампованные щиты. В электродвигателях с фазовым ротором щиты, расположенные со стороны контактных колец, больше по размерам и сложнее по форме, чем расположенные с противоположной стороны электродвигателя. При одних и тех же станинах форма щитов определяется исполнением электродвигателя (защищенные, закрытые и т. д.), а также видом установленных в них подшипников. В электродвигателях малой и средней мощности и многих крупных электродвигателях применяются подшипники качения. Подшипники скольжения устанавливаются в электродвигателях крупных габаритов при больших нагрузках на подшипники, а также в электродвигателях ранних выпусков и иностранных фирм вне зависимости от мощности.

Устройство щитов, предназначенных для размещения в них подшипников скольжения, сложней, чем для размещения подшипников качения, так как обработка отверстия в щите для втулки подшипника скольжения сложнее, чем при подшипниках качения.

Соединение щита и станины производится по центрирующим заточкам и может быть выполнено внутренним или наружным замком (рис. 5-15).

При ремонте щитов серьезными трудностями являются предотвращение деформаций, возникающих при применении сварки, а также необходимость соблюдения строгой соосности внутреннего отверстия с центрирующей заточкой.

Ремонт подшипниковых щитов производится при появлении трещин, а также при износе посадочных поверхностей под подшипники во внутреннем отверстии щита и на центрирующей заточке замка.

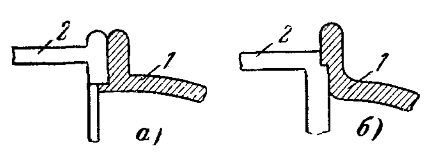


Рис. 5-15. Внутренний (*а*) и наружный (*б*) замок подшипникового щита. *1* — подшипниковый щит; *2* — станина электродвигателя.

Заварка трещин. Перед заваркой трещин поверхность щитов должна быть тщательно расчищена. Конец и начало трещин засверливаются сверлом 3—5 *мм*, чтобы предотвратить их дальнейшее развитие.

При толщине крышки более 5 *мм* по всей длине трещины снимается фаска под углом 45° шириной 3—5 *мм*. Заварка производится биметаллическим электродом с медным сердечником и тонкой наружной жестяной оболочкой.

Чтобы предотвратить коробление, рекомендуется производить заварку щита, не снимая его со станины, а для выравнивания внутренних напряжений выдержать щит в собранном со станиной положении в течение 2—3 суток.

Хорошие результаты дает горячая заварка трещин ацетилено-кислородным пламенем. Способ весьма трудоемок, требует предварительного разогрева щита в печи до 700—800° С и последующего медленного охлаждения после заварки в течение 36—72 *ч*.

Наплавленный шов должен быть ровным по всей длине, без раковин и пережогов и зачищен заподлицо со всей поверхностью щита.

Если трещина щита превышает четверть его периметра или на щите имеется несколько трещин, то такой щит не подлежит ремонту; его заварка не обеспечит необходимой прочности. Не подлежат ремонту щиты, имеющие отколы, а также покоробленные в такой степени, что

дополнительной проточкой невозможно придать им требуемую форму.

При отсутствии запасного, заменяющего щита, невозможности отливки нового чугунного или стального щита его заменяют сварным. Примерная конструкция заготовки сварного щита до его токарной обработки приведена на рис. 5-16.

Износ посадочной поверхности под подшипник. Посадочная поверхность считается нарушенной, если допуск на посадку подшипников превзойдет допустимую величину, а овальность и конусность отверстия превысит половину допуска на посадку.

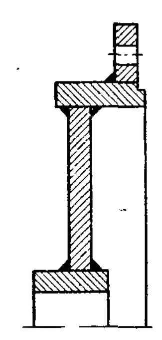


Рис. 5-16. Заготовка сварного щита.

Перед ремонтом посадочной поверхности следует предварительно определить возможность увеличения наружного диаметра самого подшипника путем металлизации или каким-либо другим способом и тем самым избегнуть необходимости ремонта подшипникового щита. При невозможности этого изменение диаметра отверстия под посадку подшипника производится путем запрессовки промежуточной втулки во внутреннее отверстие щита, металлизации посадочной поверхности или гальванического наращивания на нее слоя металла с последующей механической обработкой.

Для запрессовки втулки внутреннее отверстие в щите растачивается до размера

$$d_{щ}=d_{в}+(5\div 10)\ мм,$$

где $d_{щ}$ — диаметр отверстия в щите, *мм*;

$d_{в}$ — внутренний диаметр втулки, равный наружному диаметру подшипника минус 2—3 *мм* (припуск на обработку), *мм*.

В расточенное отверстие запрессовывается втулка *2*, как это указано на рис. 5-17.

При возможности равномерного подогрева щита до 200—250° С установку втулки желательно произвести горячей посадкой с натягом 0,10—0,12 *мм* на каждые 100 *мм* наружного диаметра втулки. При невозможности подогрева для предотвращения проворачивания втулки следует установить по окружности щита 2—3 стопорных

винта *3*, как это указано на рис. 5-17. Вслед затем на токарном станке производится окончательная обработка внутреннего диаметра втулки $d_{в}$ — проточка ее до требуемых размеров.

При соответствующем оборудовании и достаточном опыте работы хорошие результаты по восстановлению изношенной посадочной поверхности в щите подшипника достигаются путем металлизации. Как известно, принцип металлизации заключается в нанесении мельчайших частиц расплавленного металла на предварительно подготовленную поверхность. По остывании частицы металла образуют прочный слой металлического покрытия, достаточно прочно сцепленный с металлизируемой поверхностью.

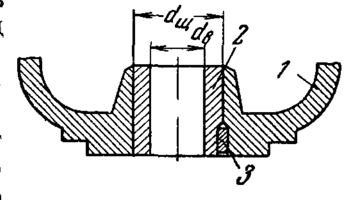


Рис. 5-17. Запрессовка втулки в отверстие щита.

1 — подшипниковый щит; *2* — промежуточная втулка; *3* — стопорный винт.

Частицы расплавленного металла выбрасываются на металлизируемую поверхность из специального устройства — пистолета с большой скоростью при помощи сжатого воздуха.

Поверхность перед металлизацией очищают и обезжиривают, а также наносят на нее грубую резьбу с целью увеличения площади сцепления с наносимым слоем металла.

Последовательность операций при металлизации внутреннего отверстия щита следующая:

а) щит устанавливают на токарный станок и проверяют внутреннее отверстие в щите. При установке на станок должна быть строго соблюдена соосность внутреннего отверстия щита с центрирующей заточкой;

б) на поверхности внутреннего отверстия щита наносят грубую резьбу с шагом 0,5—0,8 *мм* и высотой гребешков 0,4—0,6 *мм*;

в) промывают поверхность отверстия бензином и путем металлизации наносят на нее равномерный слой металла. Толщина слоя устанавливается из расчета припуска на обработку 0,5—0,7 *мм* на сторону;

г) повторно устанавливают щит на токарный станок и протачивают нанесенный слой металла до требуемых размеров. Установку щита на станке нужно производить особенно тщательно, строго центрируя щит по его заточке в замке.

Чтобы не нарушить сцепление нанесенного слоя, проточку его следует производить при минимальной скорости вращения, снимая стружку очень небольшого сечения.

К ремонту отверстия в щите путем гальванического наращивания металла на посадочную поверхность можно прибегать в случае, если толщина наращиваемого слоя может быть ограничена 0,2—0,5 *мм*.

Способ гальванического наращивания слоя никеля и последующего наращивания слоя меди (рис. 5-18) заключается в следующем:

а) Очищают поверхность посадочного места под подшипник от грязн и обезжиривают ее. Заглушают внутреннее отверстие щита листовой резиной *2*, прикрепляя ее к торцу щита стальной крышкой *3* и болтами *4*, создавая тем самым ванну для гальванизации.

б) Устанавливают на резиновое дно ванны никелевый анод *6* и заливают ванну раствором *5*, состав которого: на 1 *л* воды 40 *г* сернокислого никеля и 20 *г* нашатыря.

в) Подключают анод к плюсу аккумуляторной батареи, а корпус щита — к ее минусу и ведут процесс никелирования, который должен протекать при температуре около 20° С при напряжении 2 *в* и плотности тока 0,1 *а/см²* в течение 10—15 *мин*.

Рис. 5-18. Установка для гальванического наращивания.

1 — подшипниковый щит; *2* — прокладка из листовой резины; *3* — стальная крышка; *4* — болты для крепления крышки; *5* — раствор электролита; *6* — анод.

г) При помощи резиновой груши удаляют оставшийся в ванне раствор и промывают посадочное место водой. Удаляют никелевый анод, взамен его устанавливают медный анод, представляющий собой густую спираль цилиндрической формы, свитую из меди прямоугольного сечения, и заливают ванну раствором, состав которого на 1 *л*. воды 200 *г* медного купороса и 50 *г* дымящейся серной кислоты.

д) Подключают анод к плюсу аккумуляторной батареи и ведут процесс омеднения, который также должен протекать при температуре около 20° С при напряжении 2 *в* и плотности тока 0,25 *а/см²*. Продолжительность процесса омеднения около 20 *мин* на 0,01 *мм* толщины наращиваемого слоя.

е) При помощи резиновой груши удаляют оставшийся в ванне раствор и промывают посадочное место водой. Демонтируют анод, стальную крышку и резиновую прокладку. Вновь промывают посадочное место водой, насухо протирают и зачищают его мелкой наждачной шкуркой.

Износ поверхности центрирующей заточки щита вызывается ударным характером нагрузки приводимого механизма, а также небалансом вращающихся частей электродвигателя.

Надобность в ее ремонте возникает в случаях, если зазор между заточкой на щите и заточкой на станине превышает 0,02%, радиальное биение центрирующей заточки по отношению к оси превышает 0,03% и аксиальное биение превышает 0,05% от диаметра расточки.

Так как заточка на щите осуществляет центрирование ротора со статором, то нарушение посадочной поверхности заточки вызывает значительную вибрацию ротора и прогрессирующий износ посадочных поверхностей как на самом щите, так и на заточке станины.

При ремонте изношенной поверхности заточки щита наилучшие результаты достигаются при ее металлизации с последующей токарной обработкой. Для точности обработки щит насаживается и укрепляется на оправке, устанавливаемой во внутреннем отверстии щита.

Иногда при ремонте заточки ее протачивают и насаживают щит на станину через металлическую прокладку. Этот способ ремонта нельзя рекомендовать, учитывая сложность самого процесса насадки щита при наличии прокладки, а также трудность надежного закрепления прокладки.

5-3. РЕМОНТ СТАНИНЫ

По сравнению с другими частями электродвигателя его станина повреждается сравнительно редко. Повреждения заключаются в отколе чугунных лап, нарушении резьбы в отверстиях для болтового крепления подшипниковых щитов и износе посадочных поверхностей замка в месте посадки торцовых щитов.

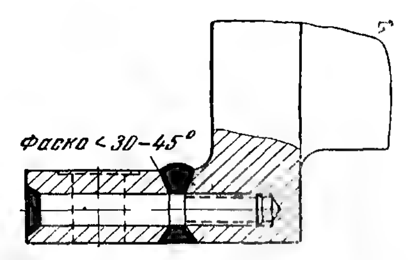


Рис. 5-19. Приварка чугунной лапы электродвигателя.

Ремонт лап. Допускается приварка не более двух лап, расположенных по диагонали. При отколе двух лап, расположенных с одной стороны элекгродвигателя, станина бракуется. Если отбитая лапа не сохранилась, то ее изготовляют по месту из стали Ст. 3.

Перед приваркой отколотая или вновь изготовленная лапа соединяется со станиной с помощью стальных штифтов, как это указано на рис. 5-19. Диаметр штиф-

тов должен составлять $^1/_3$—$^1/_2$ толщины лапы, расстояние между ними 40—50 *мм*. По всему периметру сварки снимается фаска под углом 30—45° на $^1/_4$ толщины лапы. Сварка производится так же, как и при заварке трещин в подшипниковых щитах, но нет необходимости в предварительном подогреве свариваемых частей.

После заварки производится опиловка шва и проверка правильности расположения всех лап электродвигателя в одной плоскости, а при необходимости — слесарная или станочная обработка приваренной лапы.

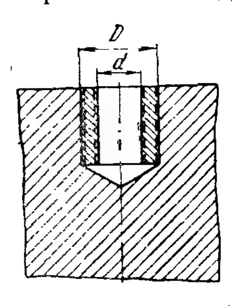


Рис. 5-20. Установка стальной пробки в станине.

Износ или повреждение резьбы в отверстиях для болтового крепления подшипниковых щитов встречается довольно часто, особенно в чугунных станинах. Наиболее простым видом ремонта является расточка отверстия и нарезка новой, увеличенной по размеру резьбы. Крепление крышки в этом отверстии производится болтами большего диаметра. В некоторых случаях увеличение диаметра болтов связано с необходимостью увеличения диаметра отверстий в подшипниковом щите, что не всегда бывает возможно осуществить. В этих случаях в расточенное и вновь нарезанное под большую резьбу отверстие в станине ввинчивается стальная пробка. Затем в пробке сверлится отверстие и нарезается резьба, размер которой равен или несколько меньше размера резьбы в заводском исполнении.

Наружный (D) и внутренний (d) диаметры стальной пробки (рис. 5-20) выбираются по месту в зависимости от диаметра болта в заводском исполнении и толщины стенки станины.

Повреждение заточки замка станины вызывается расколачиванием ее подшипниковым щитом, возникающим, как это указывалось выше, при неуравновешенности вращающихся частей электродвигателя или при ударном характере нагрузки приводимого механизма.

Повреждение заточки на станине всегда сопровождается аналогичным повреждением центрирующей заточки подшипникового щита, так как вызывается одними и теми же причинами. Поэтому в этих случаях должны одновременно ремонтироваться станина и подшипниковый щит. Этот ремонт заключается в проточке центрирующих поверхностей подшипникового щита и станины и восстановлении требуемой посадки путем металлизации поверхностей заточки подшипникового щита.

Производить металлизацию поверхности заточки на станине сложно и менее удобно.

5-4. РЕМОНТ ВАЛОВ

Прочность вала, являющегося одной из ответственных деталей электродвигателя, работающего при знакопеременной нагрузке, зависит от ряда причин, в том числе от точности обработки, правильности допусков под посадку сердечника, подшипников и контактных колец и от соблюдения плавности переходов при изменении диаметра вала.

Электродвигатели ранних типов выпускались с одноступенчатыми, гладкими валами, имевшими нерациональное распределение материала вала по отношению к нагрузке, но отличавшимися простотой механической обработки.

В настоящее время самой распространенной формой вала для электродвигателей является ступенчатая. Наличие ступеней позволяет правильно распределить материал вала и производить на него независимую посадку деталей. Наиболее нагруженные участки вала, его центральная часть и конец со стороны привода делаются более толстыми, чем остальные участки.

Для крупных электродвигателей наряду со ступенчатыми применяются сварные ребристые валы. Наварка ребер позволяет уменьшить диаметр вала, так как ребра придают ему требуемую жесткость. В некоторых конструкциях эти ребра дополнительно усиливаются поперечными дисками.

При изготовлении таких валов, а также при их ремонтах, связанных с подваркой ребер или дисков, возникают внутренние термические напряжения в теле вала. Для снятия напряжений необходима термообработка вала, заключающаяся в равномерном нагреве вала до 600—700° С с последующим медленным охлаждением.

Рассматриваются следующие основные повреждения валов электродвигателей: нарушение посадочных поверхностей под сердечником, соединительными и пере-

даточными деталями, а также под подшипниками; поломка вала; искривление вала; повреждение шпоночных канавок.

НАРУШЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Нарушение посадочной поверхности на конце вала под соединительными и передаточными деталями может произойти из-за случайных ударов при монтаже электродвигателя, при неправильной насадке или снятии деталей, сопряженных с валом горячей посадкой.

При небольших повреждениях, вмятинах, забоинах, задирах, не превышающих по площади 15—20% посадочной поверхности, ремонт ограничивается снятием выступающих мест острым резцом, сошлифовкой этих мест на станке или переносным шлифовальным приспособлением. В некоторых случаях достаточна зачистка шабером выступающих мест с последующей зашлифовкой шкуркой.

Если суммарная площадь поврежденных участков превышает 15—20% всей посадочной поверхности, целесообразно переточить соответствующий участок вала на меньший диаметр.

К проточке можно приступить, предварительно убедившись, что это не вызовет недопустимого снижения прочности вала.

Заложенные в электродвигатели единой серии А и АО общепромышленного применения мощностью до 100 *квт* запасы прочности позволяют уменьшить диаметр конца вала со стороны привода в пределах 4% и со стороны, противоположной приводу, в пределах 7%. Для крупных и ответственных электродвигателей допустимое уменьшение диаметра вала должно быть определено специальным механическим расчетом. Это требование становится совершенно понятным, если учесть, что прочность вала пропорциональна третьей степени величины его диаметра.

Уменьшение диаметра посадочной поверхности вала должно быть также увязано с возможностью уменьшения диаметра отверстия в детали, насаживаемой на вал. Если это уменьшение диаметра невозможно или трудно осуществимо или влечет за собой необходимость замены насаживаемой детали — шкива муфты и др., то бывает целесообразным установить между валом и насаживаемой деталью промежуточную втулку. Это позволит ограничиться только расточкой соответствующего отверстия в насаживаемой на вал детали.

Втулка, толщина стенки которой должна быть не менее 5—7 *мм*, насаживается на вал в горячем состоянии, после чего ее протачивают на токарном станке до нужных размеров соосно со всем ротором.

При переточке вала во избежание концентрации напряжений в местах перехода от одного диаметра вала к другому необходимо следить за плавностью этих переходов.

Известны случаи, когда очень резкие переходы являлись причиной поломки вала.

В тех случаях, когда восстановление посадочной поверхности не может быть осуществлено зачисткой поврежденных мест, или переточкой вала, часто прибегают к наплавке металла на посадочную поверхность с помощью электросварки с последующей токарной обработкой наплавленного слоя. Наплавка производится путем нанесения в определенной последовательности ряда сварочных швов, так называемых «валиков», вдоль продольной оси вала. Эти валики, соприкасаясь и частично перекрывая друг друга, образуют дополнительный слой металла, прочно сцепленный с телом вала.

Следует учитывать, что электронаплавка вызывает появление местных напряжений, которые особенно значительны в сечении вала на конце навариваемого участка. Поэтому если вал имеет уступ в месте перехода от целого участка к наплавляемому, то следует проверить плавность перехода и при необходимости произвести необходимые исправления.

При наложении каждого отдельного валика соответствующий участок вала разогревается, волокна металла на этом участке удлиняются, что может повлечь за собой некоторое изгибание (коробление) вала.

Для предотвращения этого наплавку надо производить так, чтобы последовательно накладывались диаметрально расположенные валики. На рис. 5-21 цифрами указана последовательность их наложения.

После наплавки первой группы валиков они зачищаются от шлака и рядом с ними наплавляется следующая группа валиков с соблюдением указанной последовательности наложения. Наплавка производится до тех пор, пока вся поверхность не будет покрыта равномерным слоем металла требуемой толщины. Валики, наплав-

ляемые последними, рекомендуется делать длиннее, чем предыдущие, и располагать их, как показано на рис. 5-22. Удлиненные валики придают более плавный, постепенный характер структурному изменению металла вдоль вала.

Рис. 5-21. Последовательность наложения валиков.

Все же соблюдение последовательности наложения, а также применение удлиненных валиков не предотвращают возникновения внутренних напряжений в металле, а несколько снижают их. Но если после электронаплавки подвергнуть вал термообработке, нагрев его до 600—700° С и затем медленно охладить, то структура металла почти полностью восстановится и внутренние напряжения в нем сведутся к минимуму.

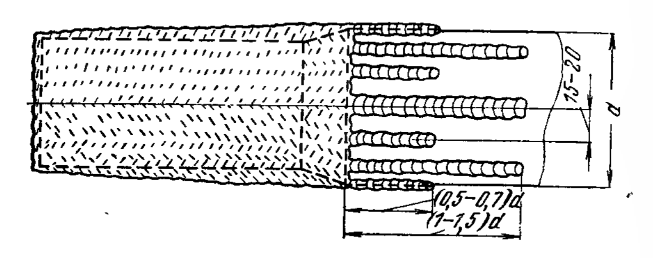


Рис. 5-22. Расположение удлиненных валиков.

Относительно высокая температура отжига позволяет применять его только для валов, выпрессованных из сердечника.

После наплавки производится обточка и шлифовка ремонтируемого участка вала.

Наряду с электронаплавкой восстановление посадочной поверхности под соединительными и передаточными деталями выполняется способом металлизации. По сравнению с электронаплавкой этот способ имеет серьезное преимущество, так как не вызывает структурных изменений и связанных с этим внутренних напряжений в металле, но вместе с тем сцепление нанесенного слоя

с валом и его прочность значительно ниже, чем при электронаплавке.

Повреждение посадочной поверхности под сердечником, как правило, наблюдается у электродвигателей, имеющих толчкообразный, ударный характер нагрузки или у реверсивных электродвигателей с частыми циклами реверсирования.

Наиболее часто повреждаются валы, имеющие накатанную (рифленую) посадочную поверхность, а не гладкую, где крепление пакета стали производится шпонкой, врезанной в вал.

Нарушение накатанной поверхности выявляется ослаблением напряженности посадки, возникает иногда через незначительный срок после начала эксплуатации и возрастает с течением времени.

Причиной нарушения накатанной поверхности вала является ее недостаточно равномерная обработка на заводе-изготовителе, при которой сердечник сопрягается с валом не по всей посадочной поверхности, а только с частью ее. Такая посадка увеличивает удельную величину нагрузки на посадочную поверхность вала, ведет к ее деформации, все более возрастающей по мере работы электродвигателя.

Другой причиной повреждения является недостаточная величина напряженности посадки сердечника на вал, когда сердечник имеет возможность хотя бы незначительного перемещения по отношению к валу. Эти перемещения вызывают деформацию вала, также увеличивающуюся по мере работы электродвигателя.

Восстановление поверхности на валу под посадку сердечника может быть произведено такими же способами, как под посадку соединительных и передаточных деталей, но с той разницей, что в этом случае более предпочтительным является металлизация поверхности, а не электронаплавка.

При электронаплавке возможный изгиб вала происходит в его средней части по месту насадки сердечника. Будучи даже незначительным, этот изгиб вызовет относительно большое перемещение концов вала; потребуется правка вала.

После электронаплавки и токарной обработки наплавленного участка производится накатка (рифление) его поверхности. Накатанная поверхность подвергается шлифовке, цель которой заключается в обеспечении гео-

метрически правильной формы вала, а также удалении острых гребней накатки, являющихся непрочным, легко сминаемым основанием при насадке на него сердечника. В связи с тем, что для получения достаточно больших, прочных гребней требуется приложение значительных усилий, при которых возможен изгиб вала, необходимо при накатке устанавливать вал на жесткие массивные люнеты. Особенно важно это для тонких и длинных валов.

Посадочные поверхности шеек валов, работающих с подшипниками качения, могут повреждаться при неправильной посадке и снятии подшипников, а также в процессе эксплуатации электродвигателя при проворачивании внутреннего кольца подшипника. Проворачивание кольца может произойти из-за смятия накатанных гребешков при насадке подшипника и ослаблении напряженности посадки.

Слишком тугая посадка подшипника в подшипниковом щите может повлечь за собой заклинивание подшипника и проворачивание его внутреннего кольца. Обычно при этом на валу образуются задиры.

Шейки валов, работающих в подшипниках качения, повреждаются главным образом при нарушении системы смазки и при попадании в подшипник твердых посторонних тел. Ремонт шеек под подшипники качения производится способом металлизации или электронаплавки, путем проточки на другой меньший диаметр с насадкой промежуточной втулки (кольца), а также способом накатки поверхности шейки.

Ввиду недостаточной надежности к последнему способу следует прибегать в крайнем случае, при невозможности применить другие виды ремонта.

Ремонт шеек в подшипниках скольжения при повреждениях и износе их поверхности, а также при потере правильной геометрической формы обычно производится путем переточки на другой, меньший диаметр с последующей шлифовкой.

Несмотря на то что этот вид ремонта связан с необходимостью перезаливки подшипников, он является наиболее применяемым.

Применяется также ремонт способом металлизации, при котором не требуется перезаливки подшипников; его следует рекомендовать при наличии соответствующего оборудования.

Применение электронаплавки при ремонте шеек в подшипниках скольжения является крайне нежелательным не только из-за возможности искривления шейки и появлении внутренних напряжений, но и потому, что даже при самом тщательном шлифовании поверхность шейки получается недостаточно чистой, что отрицательно влияет на работу подшипника и ведет к преждевременному износу вкладыша.

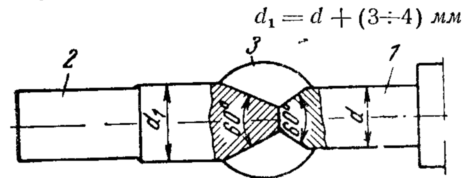


Рис. 5-23. Ремонт сломанного вала электросваркой.

1 — поврежденный вал; *2* — надставка; *3* — наплавленный металл.

Поломка валов. Выше указывалось, что одной из причин поломки вала может быть неправильная наплавка металла на его поверхность, при которой в нем возникают внутренние напряжения, а также неплавные переходы от одного диаметра вала к другому, вызывающие концентрацию напряжения. При длительной эксплуатации электродвигателя поломка вала может явиться результатом усталости металла, так как вал представляет собой деталь, работающую со знакопеременной нагрузкой. Естественно, что причиной поломки может быть также заводской дефект металла, не выявленный при выпуске электродвигателя с завода и развившийся с течением времени при эксплуатации электродвигателя.

Ремонт вала производится путем изготовления надставки из стали Ст. 5 или стали 45, соединения ее с концом вала электросваркой и последующей токарной обработки наваренного слоя металла и надставки до нужных размеров (рис. 5-23). При электросварке следует принять указанные ранее меры, сводящие к минимуму внутреннее напряжение в металле.

Другой вид ремонта, не требующий применения электросварки, заключается в изготовлении протеза, соединении его с валом горячей посадкой при температуре 250—300° С и последующей токарной обработке (рис. 5-24). Размеры протеза указаны исходя из его

равнопрочности с основным валом. При правильно выполненных допусках под посадку с натягом этот вид соединения достаточно надежен.

Искривление вала. Изгибы (искривление) валов наблюдаются в основном у электродвигателей небольшой мощности и, реже, у крупных электродвигателей. Искривление вала может быть следствием случайных ударов при транспортировке, механических воздействий при насадке или снятии шестерен, муфт и шкивов, а также может произойти в процессе эксплуатации электродвигателя.

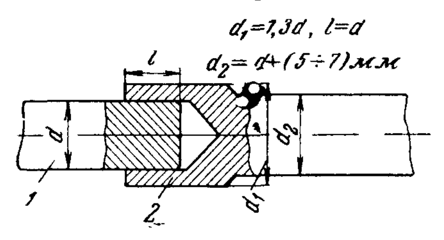


Рис. 5-24. Установка протеза на вал.

1 — поврежденный вал; *2* — протез.

При появлении по каким-либо причинам вибрации ротора или при проседании подшипников может произойти задевание вала за уплотнения и его нагрев в результате трения об уплотнения. Если при этом вал будет касаться уплотнений не по всей поверхности, а только по ее части, то и нагрев вала будет неравномерным. Наибольший нагрев будет в части вала, трущейся об уплотнение. В этой части вала удлинение волокон металла от нагрева будет большим, чем на остальной его части, что и вызовет изгиб вала в этом месте.

После остановки электродвигателя в зависимости от длительности и степени этого одностороннего нагрева либо вал выпрямится, либо его искривление полностью или частично сохранится.

Вал подлежит ремонту, если стрела его изгиба превысит 0,03 *мм* для электродвигателей со скоростью вращения 3 000 *об/мин* и 0,05 *мм* для электродвигателей со скоростью вращения 1 500 *об/мин* и ниже.

Для электродвигателей небольшой мощности, до 100 *квт,* при изгибе вала, не превышающем 0,3% его длины, выправку вала производят в холодном состоянии с помощью пресса. При большем изгибе, если это представляется возможным, вал следует подогреть до 400—500° С.

Для выправки вал ротора (с насаженным или демонтированным сердечником) укладывают на призматические опоры и, проворачивая его, определяют индика-

тором выпуклую сторону. Поместив вал выпуклой стороной к верху, давят на него нажимным штоком пресса (рис. 5-25). Таким способом удается выправлять валы с точностью до 0,05 *мм* на 1 000 *мм* его длины.

Рис. 5-25. Правка вала прессом.

1 — стойка пресса; *2* — нажимной шток пресса; *3* — предохранительная подкладка; *4* — призматическая стойка; *5* — индикатор; *6* — вал электродвигателя.

Искривленные валы электродвигателей средней и большой мощности удается эффективно выправлять способом наклепки. Наклепка производится с помощью зубила (чеканки), заточенного соответственно диаметру вала (рис. 5-26).

Для выправки вал укладывают на жесткую подкладку и закрепляют выпуклой стороной вниз. Частыми ударами чеканят вал в месте его изгиба. Начинают чеканку от самой верхней точки окружности, постепенно передвигаясь от нее поочередно по обе стороны на 1/6 часть окружности. При чеканке волокна металла удлиняются, что заставляет вал изгибаться таким образом, что он выпрямляется. Если наклепкой одной полосы (занимающей 1/3 окружности) не будут достигнуты требуемые результаты, то, отступив от нее на 5—10 *мм* вдоль вала, производят аналогичную наклепку другой полосы. При необходимости производят наклепку в нескольких полосах.

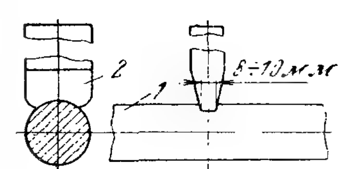


Рис. 5-26. Правка вала наклепом.

1 — вал; *2* — чеканка.

В местах наклепки наружная поверхность вала деформируется. Исправлять получившиеся деформации путем проточки или опиловки нельзя, так как при этом могут оказаться срезанными наклепанные, удлиненные волокна металла и вал может принять свою прежнюю, изогнутую форму.

В некоторых случаях очень небольшие искривления вала можно компенсировать балансировкой ротора.

Значительное искривление нельзя этим компенсировать, так как оно ограничивается величиной зазора в уплотнениях.

Кроме того, балансировка не устраняет эксцентричности ротора по отношению к статору, что, как известно, ухудшает условия работы и эксплуатационные показатели электродвигателя.

Повреждение шпоночных канавок. Повреждение шпоночной канавки заключается, как правило, в разработке ее боковых стенок. Ремонт производится путем расширения канавки — обычно бывает достаточно расширить ее на 2—4 *мм*, или электронаплавкой металла на боковые стенки канавки с последующей механической обработкой наплавленного слоя.

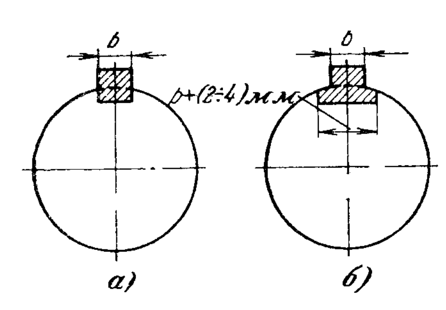


Рис. 5-27. Установка ступенчатой шпонки.
а — заводское исполнение; *б* — исполнение при ремонте.

Если при первом способе ремонта желательно сохранить размер шпоночной канавки в насаживаемой детали, то применяют ступенчатую шпонку, устройство которой показано на рис. 5-27.

При ремонте путем электронаплавки металла на боковые стороны канавки во избежание появления внутренних напряжений и коробления конца вала нужно наплавлять металл очень тонкими валиками. После наплавки каждого валика ремонтируемый участок следует охладить до окружающей температуры и только после этого наплавлять следующий валик.

При очень большом повреждении канавки и невозможности ее ремонта указанными способами прибегают к прорезке другой канавки, которую располагают под углом 90° к старой.

5-5. РЕМОНТ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Вентиляторы, применяемые в электродвигателях, по принципу действия подразделяются на центробежные и осевые (пропеллерные).

Центробежные вентиляторы, создающие движение воздуха в радиальном направлении, чаще применяются для электродвигателей. Давление, создаваемое этими вентиляторами, достаточно высоко, чтобы прогнать через электродвигатель необходимое количество охлаждающего воздуха. Их серьезным недостатком является сравнительно низкий коэффициент полезного действия, что отрицательно влияет на общие потери электродвигателя.

Центробежные вентиляторы могут быть сконструированы как для вращения в одну определенную сторону, так и вне зависимости от направления вращения (для реверсивных электродвигателей). Вентилятор, сконструированный для вращения в одну, определенную сторону, при обратном направлении вращения работает с меньшей производительностью.

Пропеллерные вентиляторы, создающие движение воздуха в аксиальном направлении, несмотря на высокий коэффициент полезного действия, применяются все же сравнительно редко, только для специальных электродвигателей. Причиной того является относительно невысокое давление, создаваемое ими. При изменении направления вращения производительность пропеллерного вентилятора сохраняется, но направление потока воздуха изменяется на обратное.

По конструктивному исполнению вентиляторы подразделяются на цельные — литые или штампованные и составные — клепаные или сварные.

До последних лет наименее надежными считались сварные вентиляторы. В [Л. 3] описаны примеры повсеместной замены сварных вентиляторов, установленных на крановых электродвигателях, из-за их высокой аварийности. Основная причина повреждения сварных вентиляторов заключается не в дефектности их конструкции, а в несовершенстве сварки, отсутствии или недостаточности термообработки. Сварные вентиляторы являются также самыми дешевыми и наиболее удобными для серийного производства. Поэтому по мере усовершенствования сварочного производства расширяется их применение для массовых и серийных электродвигателей.

Клепаные вентиляторы устанавливают на крупных быстроходных электродвигателях при применении для лопаток специальных сталей или цветных металлов.

Аварии вентиляторов, заключающиеся в отрыве приваренных или приклепанных лопаток, в большинстве случаев сопровождаются серьезными повреждениями лобовых частей обмоток статоров, вызывают необходимость полной или частичной перемотки электродвигателя.

Повреждение вентиляторов заключается в расшатывании заклепок или нарушении сварочных швов в результате вибрации лопаток и усталостных явлений в металле. Разрушение тонкостенных лопаток может произойти в результате коррозии.

Попадание в вентилятор посторонних предметов может служить причиной смятия лопаток и боковин, а в некоторых случаях приводить к выходу вентилятора из строя.

Небольшие повреждения вентиляторов устраняются на месте без снятия вентилятора с ротора. При более значительных повреждениях, связанных с полной или частичной заменой лопаток, вентилятор демонтируют, разбирают на части, переклепывают или переваривают лопатки и устанавливают на место.

Термообработка вентиляторов после проварки лопаток является обязательной.

Для крупных и главным образом быстроходных электродвигателей после частичной или полной замены лопаток вентилятора необходима его балансировка. Допустимое биение вентилятора в радиальном направлении 1 *мм* и в осевом направлении 2 *мм*.

5-6. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Технологический процесс специализированных электроремонтных заводов и электроремонтных цехов производственных предприятий не предусматривает ремонт подшипников качения. Вышедшие из строя подшипники должны направляться для восстановления на специальные заводы по ремонту подшипников.

Повреждаемость подшипников у электродвигателей очень велика; по данным б. Энергоремтреста срок службы подшипников электродвигателей мощностью 5—8 *квт* в зависимости от скорости вращения и режима работы составляет 2—5 лет, а при особо тяжелых условиях работы сокращается до 1 года.

Появившиеся даже незначительные неисправности шариковых и роликовых подшипников очень быстро развиваются и ведут к разрушению подшипника, что может повлечь за собой тяжелую аварию с повреждением активной стали, обмотки и других частей электродвигателя. Поэтому к отбраковке подшипников при приемке электродвигателей в ремонт, к их съему и насадке следует относиться очень внимательно.

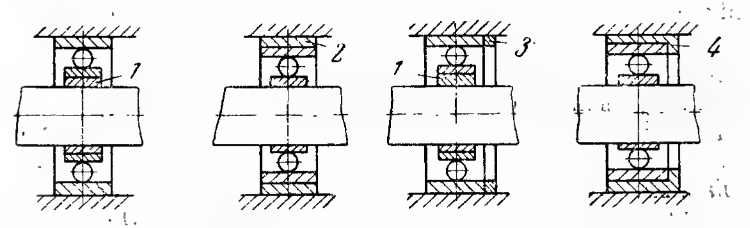


Рис. 5-28. Способ установки колец и втулки.

1 — внутренняя втулка; *2* — наружная втулка; *3* — упорное кольцо; *4* — упорное кольцо вместе с наружной втулкой.

При отсутствии требуемого подшипника подбирается заменяющий, который устанавливается в комбинации:

с внутренней втулкой (ВВ) — если внутренний диаметр заменяющего подшипника больше внутреннего диаметра заменяемого подшипника;

с наружной втулкой (НВ) — если наружный диаметр заменяющего подшипника меньше наружного диаметра заменяемого подшипника, и с упорным кольцом (УК) — если ширина заменяющего подшипника меньше ширины заменяемого подшипника.

Схема установки втулок и колец приведена на рис. 5-28.

Долговечность подшипников-заменителей меньше, чем заменяемых подшипников. Может оказаться, что при произведенной замене подшипник будет перегруженным. Перегрузка же шариковых и роликовых подшипников резко влияет на срок службы. Как установлено лабораторными испытаниями, при увеличении нагрузки на подшипник на 50%, срок его службы уменьшается в 3 раза, при увеличении нагрузки на 100% — в 8—10 раз.

5-7. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Подшипники скольжения нашли применение в электродвигателях большой мощности изготовления отечественных заводов при больших нагрузках на опоры и больших окружных скоростях вала, в некоторых элек-

тродвигателях средней мощности ранних выпусков и в электродвигателях иностранных фирм.

По сравнению с подшипниками качения они имеют большие размеры, требуют большего места для установки в подшипниковых щитах или выносных стойках, уступают подшипникам качения по сроку службы, простоте обслуживания и расходу смазочных материалов.

В качестве антифрикционного материала, применяемого для заливки подшипников электродвигателей общепромышленного назначения, применяется баббит марки Б16. Баббит с более высоким содержанием олова применяется в настоящее время сравнительно редко, главным образом при значительных удельных нагрузках подшипника при окружной скорости вала более 5 *м/сек.*

В последнее время вместо баббитовой заливки вкладышей начинает применяться специальный капрон. Наряду с этим разрабатываются и внедряются другие виды вкладышей — текстолитовые, из древесины и др.

Наиболее часто встречающиеся работы по ремонту подшипников, а также при их модернизации следующие.

Перезаливка вкладышей производится при естественном износе заливки вкладыша, когда зазор между валом и вкладышем достигнет предельно допустимой величины и возникнет опасность увеличения вибрации ротора, вытекания масла из подшипников и попадания его на обмотку, задевания ротора за статор.

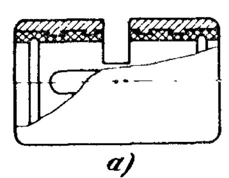
Обычно начавшийся износ подшипников быстро прогрессирует, так как воздушный зазор становится асимметричным и возникает одностороннее магнитное притяжение ротора, еще больше увеличивающее давление вала на подшипники.

Перезаливка вкладышей производится также при растрескивании, выкрашивании и значительном отставании антифрикционного слоя заливки от корпуса вкладыша. Растрескивание и выкрашивание вкладыша происходит главным образом на его торцах. Причиной того может явиться ударный характер нагрузки и чрезмерный осевой зазор (разбег) электродвигателя.

Отставание заливки от корпуса вкладыша также может явиться следствием ударных нагрузок и повышенного разбега ротора, но основной причиной отставания заливки является недостаточная подготовка внутренней

поверхности вкладыша при заливке баббитом или заливка перегретым баббитом.

Некоторые вкладыши имеют неудачно выполненное механическое крепление заливки к корпусу вкладыша. На рис. 5-29,*б* приведен пример неудовлетворительной конструкции крепления заливки с небольшим количеством выточек прямоугольной формы в корпусе вкладыша. Более надежный вид крепления с увеличенным



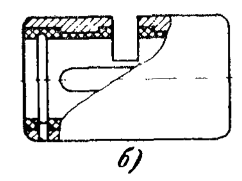


Рис. 5-29. Крепление баббитовой заливки.

а — удовлетворительное крепление; *б* — неудовлетворительное крепление.

количеством выточек, которым придана форма «ласточкина хвоста», показан на рис. 5-29,*а*. При перезаливке подшипников корпуса вкладышей с недостаточным количеством и неудачной формой выточек должны быть переточены или заменены.

Процесс перезаливки разъемных и неразъемных вкладышей (втулок) слагается из выплавки старой баббитовой заливки, подготовки корпуса вкладыша, приготовления (расплавления) баббита, заливки вкладышей, механической обработки.

Выплавка старого баббита. Перед выплавкой баббита вкладыш очищается от загрязнения и промывается в 10%-ном растворе каустической соды. Выплавку баббита следует производить в нагревательной печи при неизменной и контролируемой температуре. Нагревание вкладыша паяльными лампами, газовыми горелками нежелательно, так как можно «пережечь» баббит — сделать его непригодным для повторного использования. Кроме того, при сильном перегреве может произойти коробление стального или чугунного корпуса вкладыша.

При отсутствии специальной печи для разогрева вкладышей, особенно большого габарита, можно применить устройство, где нагрев осуществляется индукционными потерями в стали.

Устройство индукционного нагревателя схематически указано на рис. 5-30. При пропускании тока через катушку *3* от действия вихревых токов разогревается стальной сердечник (стакан) *2*; расплавление баббита происходит от тепла, излучаемого сердечником.

Для увеличения производительности нагревательное устройство должно иметь несколько сменных комплектов стаканов и катушек различных размеров.

После окончания выплавки стекший в тигель жидкий баббит необходимо тщательно перемешать для получения однородности со-

става. При возникновении сомнений в марке баббита производят химический анализ либо определяют марку баббита по удельному весу путем взвешивания кубика строго определенного объема.

Подготовка корпуса вкладыша. Корпус вкладыша очищают от окислов и окалины стальными щетками, протравливают в 10—15%-ном растворе серной или соляной кислоты в течение 2—3 *мин* и промывают вкладыш в горячей воде.



Рис. 5-30. Индукционный нагреватель для выплавки баббита.

1 — вкладыш подшипника; **2** — сердечник (стакан); **3** — катушка; **4** — тигель; **5** — подставка.

После травления внутреннюю поверхность вкладыша вторично очищают стальной щеткой, покрывают флюсом (раствором хлористого цинка), подогревают до 280—320° С и облуживают, натирая палочкой припоя ПОС-30 или ПОС-40. Лужение можно также производить погружением вкладыша в ванну с расплавленным припоем. В этом случае после вторичной очистки внутренней поверхности вкладыша его наружную, не подлежащую полуде поверхность покрывают защитным слоем состава, состоящего из 2 весовых частей мела, 2 частей жидкого стекла и 1 части воды. После высыхания защитного покрытия погружают вкладыш в ванну с расплавленным припоем на 2—7 *мин.*

Приготовление баббита. Баббит расплавляется в тиглях с электроподогревом или разогревается пламенем газовых горелок или паяльных ламп. Температура расплавленного баббита должна быть в пределах 400—420° С. Поднесенная к нему полоска белой бумаги должна тлеть, но не гореть. При более высокой температуре бумага загорается.

Как недогрев, так и перегрев баббита недопустим; в обоих случаях снижается сцепляемость баббита с корпусом вкладыша, а также ухудшаются его механические и антифрикционные свойства. Поверхность баббита после застывания должна иметь серебристо-белый цвет. Перегретый баббит — желтого оттенка.

Старый, выплавленный из вкладышей баббит используется с добавлением 30—50% нового баббита.

Находящийся в тигле расплавленный баббит засыпается сверху слоем древесного угля и этим предохраняется от окисления. Непосредственно перед заливкой во вкладыш баббит перемешивается раскаленным стальным прутом и с его поверхности удаляются уголь и шлак.

При очень загрязненном баббите расплавленный баббит рафинируют хлористым аммонием. Для этого аммоний завертывают в бумагу, помещают в патрон — стальную луженую трубку с отверстиями и этот патрон закладывают на дно тигля. При разложении аммония происходит интенсивное перемешивание баббита, а также отделение шлаков. Шлак и другие загрязнения всплывают наверх и легко удаляются.

Заливка вкладышей. Перед заливкой баббитом все отверстия в стенках вкладыша законопачивают асбестовым шнуром или асбестовой бумагой.

В разъемных вкладышах по месту разъема устанавливаются прокладки из листовой нелуженой стали толщиной 4—6 *мм.* Собранные вместе половинки вкладыша обертывают 2—3 слоями асбестовой бумаги (картоном) и стягивают хомутом. Вместо обертывания асбестовой бумагой можно снаружи обмазать вкладыш глиняным составом (100 весовых частей глины, 25 частей поваренной соли и 25 частей воды).

Для заливки вкладыш устанавливается на ровное основание — плиту *7* и скрепляется с ним струбцинами *6*. Внутрь вкладыша помещается стальной или деревянный сердечник *4* (рис. 5-31). Диаметр сердечника выбирается из расчета усадки баббита 0,5—0,7% и припуска на механическую обработку 3—6 *мм* на сторону. Практически для вкладышей диаметром 60—80 *мм* средний диаметр сердечника на 8—10 *мм* меньше диаметра вала, а для вкладышей диаметром 100—150 *мм* — меньше на 10—15 *мм.* Сердечник желательно выполнить с небольшим конусом для удобства извлечения из залитого вкладыша.

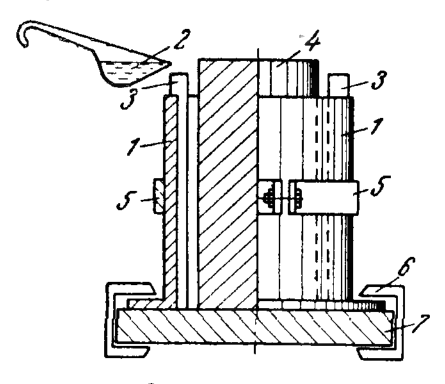


Рис. 5-31. Заливка разъемного вкладыша.

1 — половинки вкладыша; **2** — расплавленный баббит; **3** — прокладка между половинками вкладыша; **4** — сердечник; **5** — стягивающий хомут; **6** — струбцина; **7** — плита.

Перед самой заливкой вкладыш с установленным сердечником подогревают до 250—270° С, что соответствует температуре плавления прутка олова при соприкосновении его с вкладышем.

Для предохранения полуды от окисления заливку баббитом нужно производить сразу после полуды вкладыша. Заливку производят ковшом, в котором вес расплавленного баббита должен быть с 20—25%-ным запасом. Баббит следует лить равномерной, непрерывной струей, направляя ее на стальную прокладку *3* с тем, чтобы одновременно заполнять две половины вкладыша. В процессе заливки жидкий баббит несколько раз протыкают стальным раскаленным прутом, чтобы дать выход газу. Через несколько минут вкладыш охлаждают водой или сжатым воздухом, начиная с его нижней части.

Более прогрессивным, чем приведенный выше, является способ центробежной заливки вкладышей при помощи приспособления, устанавливаемого на токарный станок, или на специальном заливочном станке. При этом способе обеспечивается лучшая структура залитого слоя баббита с точки зрения его антифрикционных свойств слои, соприкасающиеся с валом, оказываются более насыщенными оловом, чем примыкающие к корпусу вкладыша. Улучшается сцепление слоя баббита с корпусом вкладыша, уменьшается на 8—10% расход баббита за счет уменьшения припусков на механическую обработку.

При центробежной заливке не обязательно предварительное лужение корпуса вкладышей, что очень важно при чугунных корпусах,

где этот процесс очень трудоемок. Приспособление для центробежной заливки, устанавливаемое на токарный станок (рис. 5-32), сравнительно несложно и легко выполнимо собственными силами.

Предварительно подготовленный и подогретый до 220—250° С корпус вкладыша *1* зажимается между дисками *2*, станок запускается и через воронку *3* заливается в корпус необходимое количество

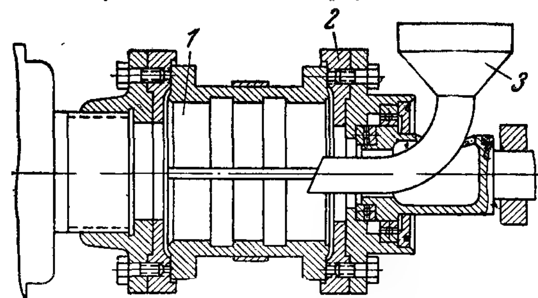


Рис. 5-32. Приспособление к токарному станку для заливки вкладышей.

расплавленного баббита. Под влиянием центробежной силы баббит равномерно распределяется на внутренней поверхности корпуса вкладыша. Указанную температуру вкладыша нужно поддерживать в течение всего времени его заливки, а вращение вкладыша продолжать 10—15 *мин* после заливки до полного отвердения и кристаллизации слоя баббита.

Скорость вращения в зависимости от марки баббита и размера вкладыша выбирается по табл. 5-1.

Таблица 5-1

Скорость вращения патрона при заливке баббита

Внутренний диаметр вкладыша, *мм*	Скорость вращения патрона, *об/мин*, при заливке баббитом марки	
	Б16 и БН	Б83
30	1 490	1 670
40	1 230	1 410
50	1 130	1 310
60	1 040	1 170
70	970	1 100
80	900	1 000
90	850	970
100	810	920
110	770	860
120	740	840
130	710	800
140	680	770
150	660	740

На рис. 5-33 изображен специальный станок для центробежной заливки вкладышей.

На опорной плите *1* установлены подшипники *3* и *4*, на которые опирается полый шпиндель *2*. На одном конце шпинделя навернут патрон, состоящий из трех планшайб: планшайбы *5*, навернутой на шпиндель, планшайбы *6*, скрепленной с планшайбой *5* тремя шпильками *7*, и планшайбы *8*, которая, имея соответствующие отверстия, может передвигаться по шпилькам *7*; передвижение происходит под действием винтового штока *9*. Задний конец шпинделя также имеет

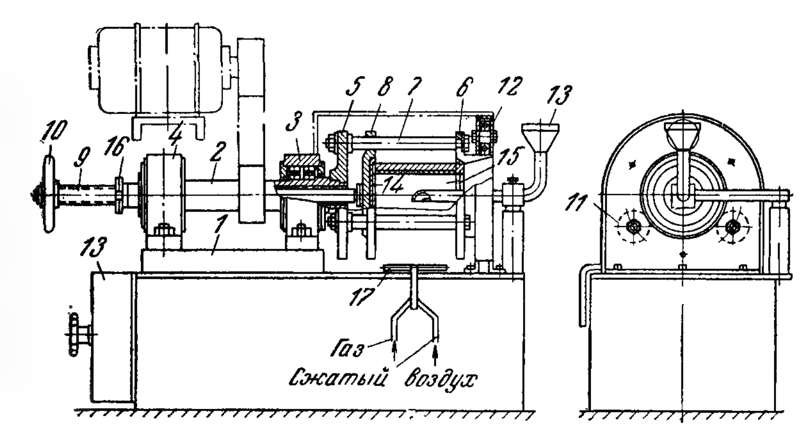


Рис. 5-33. Станок для центробежной заливки подшипников.

внутреннюю резьбу, и при проворачивании маховика *10* происходит передвижение планшайбы *8*. Передний конец патрона поддерживается тремя роликовыми опорами *11*, установленными на разъемной раме *12*. Для вращения станка установлен электродвигатель, скорость вращения которого регулируется реостатом *13*.

Для заливки вкладыша его устанавливают между неподвижной планшайбой *6* и передвижной *8* при помощи шайб *14* и *15*. Эти шайбы являются сменными в зависимости от диаметра подшипника. Вкладыш зажимается путем поворота маховика *10* и продвижения при этом штока *9*. От самоотвинчивания шток предохраняется контргайкой *16*. Далее включают станок и при минимальной скорости вращения электродвигателя подогревают вкладыш газовой горелкой *17*.

Для тех вкладышей, которые заливаются без предварительной полуды, производят очистку внутренней поверхности стальной щеткой (луженые вкладыши не нуждаются в очистке щетками). После очистки продувают вкладыш струей сжатого воздуха. Заливочная воронка *18* при этих операциях должна быть отведена в нерабочее положение.

После подогрева вкладыша до требуемой температуры, его очистки и продувки устанавливают заливочную воронку в рабочее положение, переводят электродвигатель на требуемую скорость вращения согласно табл. 5-1 и заливают вкладыш непрерывной струей расплавленного баббита. Заливка должна производиться через 2—

3 *мин* после очистки вкладыша или окончания лужения внутренней поверхности вкладыша.

Механическая обработка. Начальной операцией является прорезка окна под смазочное кольцо, производимая обычно на токарном станке при эксцентричном закреплении вкладыша в патроне. Для разъемных вкладышей этому должно предшествовать: разделение вкладыша на половинки, строжка и пришабровка друг к другу плоскостей разъема, установка по месту разъема дистанирующих пластин толщиной требуемого зазора и прочное сцепление хомутами двух половинок вкладыша.

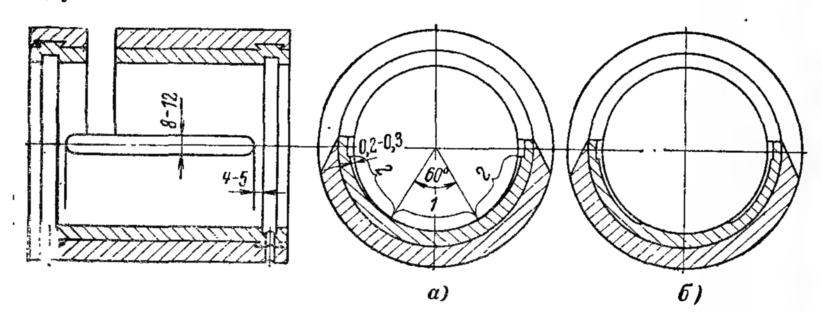


Рис. 5-34. Шабровка вкладыша.

а - правильная шабровка; *б* — неправильная шабровка; *1* — поверхность касания; *2* — карманы.

После прорезки окна вкладыш устанавливается на станке центрично и протачиваются торцы, внутренняя поверхность вкладыша и маслособирательные канавки по краям вкладыша. Для разъемных вкладышей, скомплектованных с дистанирующими пластинами, диаметр расточки вкладыша должен превышать диаметр шейки вала на удвоенную величину требуемого зазора. При этом условии после удаления дистанирующих пластин вертикальный и боковые зазоры будут требуемой величины и равны между собой. Далее следует выбрать вручную или на станке продольные маслораспределительные канавки (холодильники) шириной 8—12 *мм* и глубиной 1,5—2 *мм*, не доводя их до маслособирательных канавок на 4—5 *мм*.

Нижняя рабочая зона вкладыша — поверхность касания вала и вкладыша должна составлять $^1/_6$ часть окружности. Переход от маслораспределительных канавок до рабочей зоны должен быть плавным. На рис. 5-34,*а* указано расположение рабочей зоны, карманов, маслораспределительных и маслособирательных канавок.

При резком переходе от маслораспределительных канавок к рабочей зоне (рис. 5-34,*б*) нарушается непрерывность масляного слоя вкладыша. На этом участке не образуется масляный клин, разгружающий рабочую зону вкладыша.

Окончательная шлифовка вкладыша по валу производится по «краске» до получения равномерного прилегания в зоне $^1/_6$ части окружности.

Наплавка баббита на поверхность слоя заливки применяется главным образом для исправления местных повреждений, т. е. при выкрашивании и подплавлении

небольших участков. Наплавка производится пламенем автогенной горелки или электрическим способом.

При том и другом способе наплавляемую поверхность обезжиривают и покрывают тонким слоем флюса (концентрированный водный раствор хлористого аммония и хлористого цинка, смешанных в равных весовых частях) и высушивают флюс. Для наплавки приготовляют прутки из баббита соответствующей марки.

При наплавке электрическим способом один вывод питающего трансформатора напряжением 12 *в* мощностью 1—1,5 *квт* присоединяют к корпусу подшипника, а другой — к электроугольному блоку, закрепленному в держателе. Держатель с угольным блоком перемещают вдоль вкладыша, плотно прижимая его к поверхности вкладыша. Соответствующий участок баббита на вкладыше при этом расплавляется и в него добавляется баббит из прутка. Таким образом на поверхность вкладыша наносится валик баббита. Следующий наносимый валик должен плотно примыкать к ранее нанесенному. Указанным способом поверхность вкладыша покрывается лежащими рядом баббитовыми валиками.

При наплавке вкладыш должен все время перемещаться, чтобы каждый наплавляемый валик располагался в нижней части вкладыша.

При наплавке автогенной горелкой нанесение баббитовых валиков производится в таком же порядке. Во избежание пережога баббита горелку не следует располагать близко к поверхности вкладыша и баббитовому прутку.

Улучшение уплотняющих устройств. При эксплуатации электродвигателей, работающих с подшипниками скольжения, часто имеет место дефект, серьезность которого не всегда достаточно оценивается — вытекание масла из подшипника. Масло может проникать как внутрь электродвигателя и, попадая на обмотку, разъедать и разрушать ее изоляцию, так и наружу — загрязняя электродвигатель и разрушая бетонный фундамент, на котором он установлен.

Причиной вытекания масла могут являться недостатки в эксплуатации электродвигателя — заполнение подшипника маслом сверх допустимой нормы, применение несоответствующих сортов масла с пониженной вязкостью, повышенные зазоры в уплотнениях, а также конструктивные недостатки уплотняющих устройств под-

шипника, подлежащие устранению при ремонте электродвигателя.

Основная причина, заставляющая масло передвигаться по валу внутрь электродвигателя, — разрежение воздуха, создаваемое вентилятором в зоне выхода вала из внутренней стороны подшипника. Чем крупнее электродвигатель, тем интенсивнее его вентиляция и тем сильней может быть это засасывание масла.

Для устранения этого серьезного дефекта помимо обычных уплотнений применяются дополнительные устройства (подробнее — см. [Л. 3], стр. 174—179).

На рис. 5-35 приведено устройство в виде зубчатого маслоотражательного кольца, насаженного на вал. Как видно из рисунка, установка этого кольца связана с необходимостью некоторого, хотя

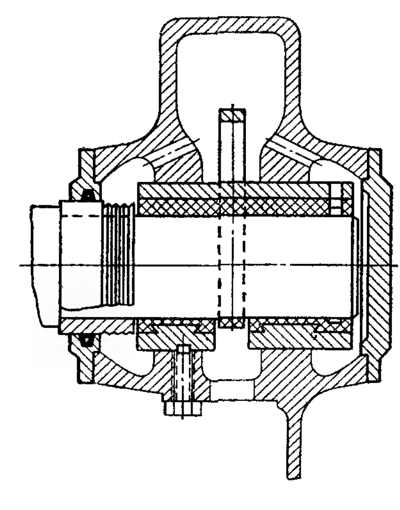


Рис. 5-35. Установка маслозадерживающего кольца.

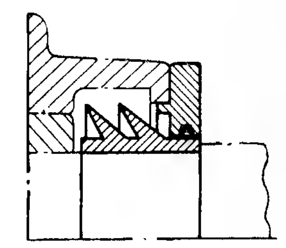


Рис. 5-36. Установка маслоотражательного кольца.

и незначительного, укорочения вкладыша. При небольшом разрежении, создаваемом вентилятором, эта конструкция достаточно надежна.

При более глубоком разрежении вместо зубчатого кольца устанавливается втулка с коническими маслоотбрасывающими шайбами (рис. 5-36). Втулка требует большее место для установки, чем зубчатое кольцо.

На рис. 5-37 приведена конструкция осевого лабиринтного уплотнения, применяемого при сильной осевой вентиляции.

Имеется группа так называемых воздушных уплотнений, в которых применен перепуск воздуха из зоны повышенного давления в зону разрежения — в месте выхода вала из внутренней стороны подшипника.

Одна из таких конструкций воздушного уплотнения приведена на рис. 5-38 (подробнее — см. [Л. 16], стр 70).

Замена подшипников скольжения подшипниками качения. Как указывалось, подшипники скольжения уступают подшипникам качения по сроку службы, сложности эксплуатации и расходу смазочных материалов. Поэтому в настоящее время они применяются главным образом для крупных электродвигателей с большими нагрузками на опоры и высокими окружными скоростями шеек валов.

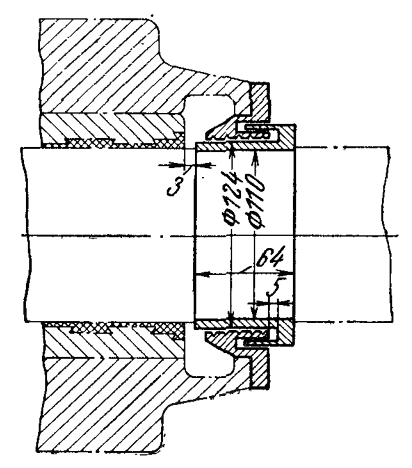


Рис. 5-37. Установка лабиринтного уплотнения.

Тем не менее очень большое количество установленных электродвигателей ранних выпусков и иностранных фирм малой и средней мощности оборудованы подшипниками скольжения. В целях повышения эксплуатационной надежности электрооборудования целесообразно в таких электродвигателях, если это не сопряжено с большими механическими работами, заменять установленные подшипники подшипниками качения. Переделка должна производиться в соответствии с расчетной и конструктивной подготовкой, при которой в зависимости от величины и характера нагрузки на опоры, окружной скорости вала и режима работы электродвигателя выбирается тип и размеры подшипников и определяется способ их установки.

При выборе подшипников качения, исходя из условия приближения переделываемых подшипниковых узлов к современным, следует руководствоваться следующим:

для мелких электродвигателей общепромышленного назначения применять шариковые подшипники для обеих опор;

для электродвигателей средней мощности при спокойном характере нагрузки применять для передних опор шариковые, а для задних опор роликовые подшипники;

для электродвигателей средней мощности, но при тяжелом характере нагрузки применять роликовые подшипники для обеих опор.

Дать какие-либо общие рекомендации по конструктивному оформлению при указанной замене подшипни-

ков очень трудно. В каждом отдельном случае это решается индивидуально с учетом конкретной конструкции существующего подшипникового узла и требований, предъявляемых к нему после переделки.

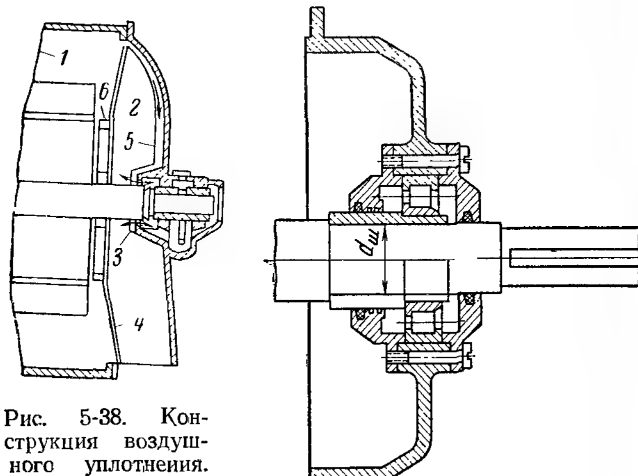


Рис. 5-38. Конструкция воздушного уплотнеиия.
1 — зона повышенного давления; *2* — зона разрежения; *3* — кольцеобразная камера; *4* — диффузор вентилятора; *5* — трубка для подвода воздуха; *6* — вентилятор.

Рис. 5-39. Вариант перевода электродвигателя с подшипников скольжения на подшипники качения.

На рис. 5-39 дан пример перевода опор электродвигателя с подшипников скольжения на подшипники качения.

5-8. РЕМОНТ КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ

По конструктивному исполнению контактные кольца асинхронных двигателей бывают с холодной посадкой на общую втулку, с горячей посадкой на общую втулку, с болтовым креплением, на пластмассе.

Контактные кольца с холодной посадкой на втулку применяются для мелких электродвигателей специального назначения (электродвигатели малой мощности общепромышленного применения выпускаются нашими заводами с короткозамкнутыми роторами). Изоляцией между контактными кольцами и втулкой служит электрокартон, иногда в сочетании с лакотканью. Посадка контактных колец на изоляцию втулки производится прессом

или прессующими стяжными шпильками. Материалом контактных колец для мелких электродвигателей является сталь или бронза

Контактные кольца с горячей посадкой на втулку применяются для электродвигателей средней и большой мощности, а также для мелких электродвигателей, работающих в тяжелых условиях эксплуатации. Изоляцией между контактными кольцами и втулкой служит опрессованный и выпеченный миканит, на который контактные кольца насаживаются с натягом в горячем виде. Изготовляются контактные кольца крупных электродвигателей из латуни или бронзы. На рис. 5-40 представлена конструкция контактных колец ротора, собранных на общей втулке, в которой применен пружинный контакт для замыкания с короткозамыкающим кольцом.

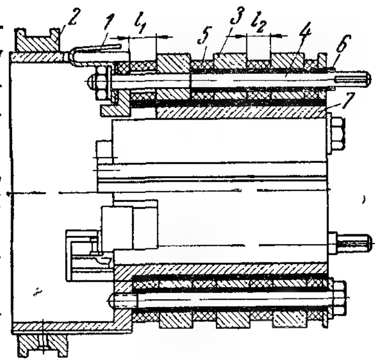


Рис. 5-40. Контактные кольца с пружинными контактами, собранные на общей втулке.
1 — пружинный контакт; *2* — короткозамыкающее кольцо; *3* — контактное кольцо; *4* — контактный болт; *5* — изоляционная шайба; *6* — изоляционная втулка болта; *7* — втулка.

На рис. 5-41 указана конструкция контактных колец, также собранных на общей втулке, но с ножевым контактом.

Рис. 5-41. Контактные кольца с ножевыми контактами, собранные на общей втулке.
1 — ножевые контакты.

Контактные кольца с болтовым креплением (рис. 5-42), собранные на фланцах, применялись в основном для крупных электродвигателей ранних выпусков и выпуска иностранных фирм. Конструкция такого крепления колец является устаревшей и электродвигатели с такими кольцами поступают в ремонт весьма редко.

Основным недостатком конструкции является то, что в процессе эксплуатации изоляционные детали подсыха-

ют и дают усадку. Результатом этого является ослабление крепления колец между собой и нарушение центричности их расположения по отношению к ротору.

Некоторыми достоинствами контактных колец с болтовым креплением являются простота изготовления, малые вес и размеры, а также то, что они хорошо омываются воздухом.

Кольца на пластмассе до последних лет применялись для электродвигателей малой мощности, но в последнее время они все больше находят применение для электродвигателей средней мощности.

Рис. 5-42. Контактные кольца, собранные на фланцах.

1 — пружинный контакт; 2 — короткозамыкающее кольцо; 3 — контактное кольцо; 4 — контактный болт; 5 — изоляционная шайба; 6 — изоляционная втулка; 7 и 8 — фланцы.

Во внезаводских условиях ремонт поврежденной пластмассовой изоляции колец не производится; кольца либо комплектно заменяются запасными, либо реконструируются с переводом на холодную или горячую посадку на втулку.

Характерными и наиболее часто встречающимися повреждениями контактных колец являются износ и нарушение контактной поверхности пружинных контактов, износ и нарушение контактной поверхности и реборд короткозамыкающих колец, нарушение изоляции между кольцами, а также между втулкой и кольцами, нарушение изоляции контактных болтов, износ (срабатывание) контактных колец.

Ремонт пружинных контактов. Полностью вышедшие из строя пружинные контакты контактных колец — обгоревшие или с отломанными пластинами — обычно не ремонтируются, а заменяются запасными или изготовленными по заводскому образцу. Частично изношенные пружины могут быть восстановлены наплавкой латуни или фосфористой меди на контактную поверхность с ее последующей механической обработкой.

Ремонт короткозамыкающих колец. Короткозамыкающие кольца с небольшими оплавленными и выгоревшими участками контактной поверхности также могут быть восстановлены наплавкой на нее латуни или фосфористой меди.

Частый вид повреждений короткозамыкающих колец — срабатывание реборд от трения о короткозамыкающую втулку. Восстанавливаются кольца путем наплавки стали на реборды и последующей проточки наплавленного слоя. При более значительных повреждениях реборды целесообразно полностью заменить короткозамыкающее кольцо, тем более что изготовление их несложно.

Восстановление изоляции контактных колец

а) **Контактные кольца с холодной посадкой на втулку.** Переизолировка производится в следующей последовательности (рис. 5-43).

Устанавливают комплект колец *3* на нижний (подкладной) диск *7*. Между контактными кольцами равномерно по окружности закладывают дистанционные стальные прокладки *10*, по три прокладки между каждой парой колец.

Вкладывают в отверстие колец полосы пропитанного электрокартона толщиной 0,4 и 0,1 *мм*, лакоткани или миканита *2*, распределяя полосы равномерно по окружности (электрокартон 0,1 *мм* служит для регулировки и подгонки требуемой толщины изоляции). Для предохранения заложенной изоляции при прессовке от повреждений на нее накладывают стальную разрезную гильзу *6* из стали толщиной 1—1,5 *мм*.

Рис. 5-43. Холодная посадка контактных колец на втулку.

1 — стальная втулка; *2* — изоляционная гильза; *3* — контактные кольца; *4* — изоляция контактной шпильки; *5* — контактная шпилька; *6* — разрезная гильза из листовой стали; *7* — нижний диск; *8* — нижний стол пресса; *9* — прокладки из электрокартона; *10* — дистанционные прокладки; *11* — верхний диск; *12* — верхний стол пресса.

Заправляют центрично, без перекосов, втулку контактных колец *1* в гильзу *6*, закрывают верхним (нажимным) диском *11*, переносят в пресс и запрессовывают втулку *1*. Требуемое давление пресса в зависимости

от размеров контактных колец 10—30 *Т*. По окончании прессовки извлекают дистанционные прокладки *10*.

Сушат втулку с насаженными на нее контактными кольцами при 110—120° С в течение 6—8 *ч*.

Накладывают на изоляцию втулки по ее краям и между кольцами бандажи из шпагата, пропитанного глифталевым, бакелитовым или шеллачным лаком.

Повторно при аналогичном режиме сушат втулку. По охлаждении покрывают бандажи эмалью воздушной мушки ГФ-92ХС или ГФ-92ХК.

Проточка контактных колец производится после посадки втулки на вал. При отсутствии необходимого оборудования впрессовывание втулки можно производить шпильками, стягивая между собой диски *7* и *11*.

б) **Контактные кольца с горячей посадкой на втулку.** При горячей посадке контактных колец в отличие от вышеприведенного способа ремонта, не втулка впрессовывается в контактные кольца, а, наоборот, контактные кольца в горячем виде с натягом насаживаются на изолированную втулку.

Существует два способа изолировки втулок. При первом, наиболее распространенном способе формовочный миканит толщиной 0,25—0,35 *мм* разрезается полосами, смазывается шеллачным или глифталевым лаком (в зависимости от клеящих, на котором изготовлен миканит), подсушивается на воздухе в течение 0,5—1 *ч* и плотно накладывается на втулку, подогретую до 80—100° С. Полосы накладываются с небольшим перекроем до тех пор, пока диаметр втулки с наложенной на нее изоляцией превысит внутренний диаметр контактных колец на 1,5—2 *мм*. Вслед за тем изоляцию обертывают 2—3 слоями кабельной или телефонной бумаги, плотно стягивают хомутом из стали толщиной 2—3 *мм*, нагревают до 120—130° С, подтягивают болты хомута и выпекают изоляцию в течение 2—3 *ч* при 150° С — для шеллачного миканита и при 180° С — для глифталевого миканита.

После остывания втулки изоляция зачищается от потеков лака и протачивается на станке. Диаметр проточенной изоляции должен превышать внутренний диаметр контактных колец на величину натяга согласно табл. 5-2.

Для посадки колец втулку *2* устанавливают на ровную плиту (рис. 5-44), накладывают на изоляцию втулки стальную разрезную гильзу *4*, предохраняющую изоля-

Таблица 5-2

Величина натяга для посадки контактных колец на омиканиченную втулку

Внутренний диаметр контактного кольца, *мм*	Толщина слоя миканита, *мм*	Натяг, *мм*	Температура нагрева колец, °С	
			Кольца из бронзы или латуни	Кольца из стали
100—200	1,5	0,4	290	450
201—300	2	0,5	240	350
301—400	2,5	0,6	210	300
401—500	3	0,8	210	300
501—600	3,5	1,0	210	300

цию *3* от повреждения при посадке колец, устанавливают вокруг втулки три-четыре подставки *1*, фиксирующие положение контактного кольца *5*, разогревают кольцо до требуемой температуры и быстро насаживают кольцо на изоляцию втулки. Небольшое пламя, могущее образоваться от соприкосновения изоляции с раскаленным кольцом, сдувается струей сжатого воздуха. Вслед за тем устанавливают между кольцами дистанционные стальные прокладки и насаживают второе и третье кольца.

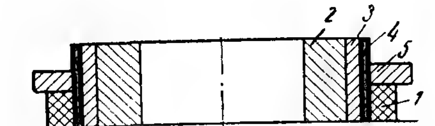


Рис. 5-44. Посадка контактного кольца.

При описанном способе изолировки при сжатии миканита стяжными хомутами неизбежно образуются складки материала, которые при проточке изолированной втулки на станке срезаются. Тем самым значительно, а иногда недопустимо ослабляется изоляция втулки.

Значительно более надежным, но более трудоемким является способ омиканичивания, при котором изоляция на втулку накладывается не полосами, а пластинками (чешуйками). Втулка, омиканиченная этим способом, показана на рис. 5-45 (втулка указана до проточки изоляции).

Для изолировки втулки следует нарезать пластины из формовочного миканита толщиной 0,5—0,7 *мм* размерами:

по длине $b = \frac{(d+2)\,t}{c}$, *мм*;

по ширине $a=l+10$, *мм*,

где d — толщина омиканиченного слоя после проточки, *мм*;

t — шаг наложения пластинок 10—15 *мм* (меньшее значение для втулок с меньшим диаметром);

c — толщина пластинки, *мм*;

l — длина омиканиченной части втулки, *мм*.

Число пластин составляет:

$$n=\frac{3,3D}{t},$$

где D — диаметр втулки, *мм*.

Порядок наложения изоляции следующий.

Втулку и одну сторону пластин смазывают в зависимости от вида миканита глифталевым или шеллачным лаком и просушивают на воздухе в течение 0,5—1 *ч*. Подогревают пластину до размягчения и лакированной стороной укладывают на втулку, плотно прижимая ее к поверхности втулки. Также со сдвигом на шаг t укладывают по всей окружности вторую и следующие пластины до подхода к той пластине, которая была наложена первой. Дойдя до первой пластины, приподнимают ее над втулкой и подкладывают под нее следующие пластины до тех пор, пока между первой и последней пластиной не будет сдвиг, равный шагу t.

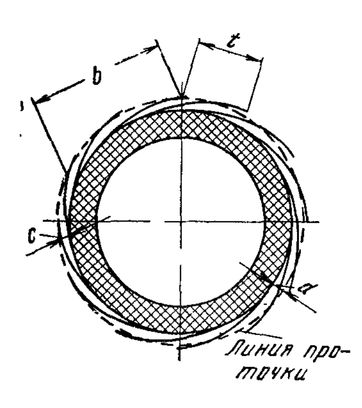


Рис. 5-45. Изолировка втулки пластинами (чешуйчатая изолировка втулки).

Далее смазывают лаком наружную поверхность последней пластины и опускают на нее первую пластину.

Последующие операции по опрессовке, выпечке и механической обработке изоляции втулки, а также насадке на нее контактных колец аналогичны изолировке втулок миканитовыми полосами.

Восстановление изоляции контактных болтов. Изолировка контактных болтов производится микафолием или формовочным миканитом толщиной 0,2—0,3 *мм*.

При переизолировке поверхность болта очищают от старой изоляции, смазывают в зависимости от вида миканита или микафолия глифталевым или шеллачным лаком и просушивают на воздухе в течение 0,5—1 *ч*. Микафолиевую или миканитовую полосу также покрывают лаком, подогревают до размягчения, после чего плотно накладывают на болт и обкатывают на ровной, подогреваемой поверхности. Припуск по толщине накатанной изоляции для последующей обработки 0,5—1 *мм* на сторону.

Далее с максимальной плотностью обертывают изоляцию болта 2—3 слоями киперной ленты и выпекают в течение 2—3 *ч* при 150° С — для шеллачного миканита или микафолия и при 180° С для глифталевого.

После остывания снимают с изоляции киперную ленту, очищают изоляцию от неровностей и потеков лака, обрабатывают до нужных размеров вручную или на станке и обклеивают 1—2 слоями электрокартона.

Замена контактных колец. При необходимости замены новые контактные кольца изготовляют с внутренним диаметром по заводскому исполнению, но только в случае, если при этом будет выдержана толщина изоляции втулки, указанная в табл. 5-2. Значительное отклонение в толщине изоляции как в сторону увеличения, так и уменьшения недопустимо. В первом случае, с течением времени ослабевает напряженность посадки, а во втором — снижается электрическая прочность изоляционного слоя.

Наружный диаметр колец должен учитывать запас на срабатывание, составляющий на сторону:

для колец диаметром менее 100 *мм*	3—4 *мм*
» » » » 100—250 *мм*	5—6 *мм*
» » » более 250 *мм*	7—8 *мм*

Материал контактных колец рекомендуется сохранять по заводскому исполнению, хотя и допустима его замена соответственно приведенным выше данным о материалах для контактных колец.

Если изоляция втулки вполне исправна, то вместо замены изношенных контактных колец можно производить ремонт, заключающийся в том, что после проточки контактных колец на них с горячим натягом насаживаются кольца из стали (бандажи). Величина натяга и нагрева бандажа должна составлять 50—60% от значе-

ний, приведенных в табл. 5-2. Как показывает ремонтная и эксплуатационная практика, этот способ ремонта вполне надежен и с успехом заменяет установку новых колец.

Глава шестая

СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

6-1. СБОРКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Сборка отремонтированных электродвигателей производится в основном с помощью тех же приспособлений и тех же инструментов, что и разборка электродвигателей.

Перед сборкой все детали и узлы электродвигателей должны быть проверены и скомплектованы в соответствии с ремонтным номером электродвигателя.

Вентилятор, внутренние поверхности подшипниковых щитов, внутренние крышки подшипников и выступающий конец вала должны быть окрашены перед сборкой. Наружная поверхность электродвигателя окрашивается после его сборки. Вентиляторы окрашиваются в красный цвет эмалью ФСХ-26.

Внутренняя поверхность подшипниковых щитов, внутренние крышки подшипников, а также наружная поверхность собранного электродвигателя окрашиваются в их прежний цвет эмалью 1425, или ФСХ-23, или ФСХ-25. Свободный конец вала окрашивается в черный цвет битумным лаком № 177.

Вновь изготовленные или старые неокрашенные подшипниковые щиты и крышки подшипников предварительно покрываются грунтовкой № 138.

Разбавителями являются: для эмалей ФСХ — сольвент, ксилол, скипидар или смесь равных долей одного из указанных растворителей с уайт-спиритом; для грунтовки 138 — ксилол или смесь равных долей ксилола и уайт-спирита.

После введения разбавителя вязкость эмали и лака должна составлять по вискозиметру ВЗ-4 около 30 *сек* при температуре 18—20° С.

Поверхности, подлежащие грунтовке или окраске, должны быть очищены от грязи, старой шпаклевки и

ржавчины и обезжирены протиркой тряпкой, смоченной в бензине или уайт-спирите.

Сварочные швы опиливаются до получения плавных переходов в месте сварки.

Грунтовка и окраска производятся кистью или краскораспылителем. Наносимый слой должен быть ровным толщиной 20—30 *мк* и высушен до прекращения отлипа: на воздухе при 20° С в течение 24 *ч*, в сушильной печи при 70—80° С в течение 1—1,5 *ч*.

При сборке электродвигателей мощностью до *100 квт* общепромышленного применения следует:

1. Насадить на вал контактные кольца и вентилятор, если они предусмотрены по конструкции электродвигателя и, кроме того, являются внутренними. Подсоединить и припаять токоподводы от обмотки к кольцам ротора. Изолировать токоподводы одним слоем вполнахлеста лакоткани и одним слоем вполнахлеста хлопчатобумажной лентой.

2. Заполнить внутренние крышки подшипников качения смазкой на $^2/_3$ их объема и насадить эти крышки на вал.

3. Протереть вал в местах посадки подшипников качения тряпкой, смоченной в бензине, и смазать вал трансформаторным маслом. Нагреть подшипники в масляной ванне до 80—90° С и насадить на вал до упора.

4. Заложить электрокартон в нижнюю часть расточки статора и ввести ротор в статор, не допуская задевания за лобовые части обмотки статора.

5. Установить во внутренних крышках подшипников направляющие шпильки. Со стороны, противоположной приводу, насадить подшипниковый щит, ориентируясь при этом на разметку, произведенную при разборке электродвигателя, и на направляющую шпильку. Заполнить смазкой подшипник и его наружную крышку на $^2/_3$ объема, установить крышку подшипника и закрепить болтами, не затягивая их окончательно (направляющую шпильку при этом вывернуть).

6. Насадить второй подшипниковый щит аналогично первому и подать его до упора в центрирующую заточку станины.

7. Вывернуть болты и слегка подтянуть подшипниковые щиты. Подавая щиты ударами медного молотка, окончательно затянуть болты.

8. Вложить смазку в подшипник и в наружную крышку подшипника со стороны привода. Слегка закрепить крышку подшипника.

9. Окончательно закрепить крышки подшипников с обеих сторон электродвигателя, отрегулировав легкость вращения ротора от руки.

10. Установить внешний вентилятор и его кожух, если они предусмотрены по конструкции. Установить контактные кольца, если они также предусмотрены по конструкции и, кроме того, являются наружными. Подсоединить и припаять токоподводы от обмотки к контактным кольцам ротора. Изолировать токоподводы одним слоем вполнахлеста лакоткани и одним слоем вполнахлеста хлопчатобумажной ленты. Отрегулировать щеточный и короткозамыкающий механизмы.

11. Установить щиток для зажимов, укрепить выводные концы обмотки статора.

12. Установить рым-болты таким образом, чтобы их плоскость была перпендикулярна к оси электродвигателя. Для регулировки положения рым-болтов подкладывать под них шайбы различной толщины.

13. Проверить качество сборки, подключив электродвигатель к сети для работы на холостом ходу в течение 2—3 *мин*, и при удовлетворительном качестве сборки передать электродвигатель на испытание.

Последовательность операций при сборке крупных электродвигателей в основном не отличается от последовательности сборки электродвигателей мощностью до 100 *квт*. Производится сборка с помощью тех же приспособлений, которые применялись при разборке электродвигателя.

В связи с тем, что крупные электродвигатели, как правило, не имеют замены, их ремонт, в том числе и сборка, производится в сжатые сроки, что требует особо четкой организации работ. Так же как и при разборке, наиболее ответственными операциями являются такелажные работы. Выполнение их должно поручаться лицам, имеющим достаточный опыт, так как вес отдельных частей электродвигателей может достигать нескольких тонн.

Техническими условиями на ремонт электрических машин переменного тока (ТУ 16-519.002-67) регламентированы условия, которым должны удовлетворять отремонтированные электродвигатели. Основные из них следующие:

1. Неравномерность воздушного зазора не должна превышать $\pm 10\%$.

2. Электродвигатель должен быть укомплектован всеми деталями, в том числе щетками соответствующих марок и размеров. Щетки должны быть хорошо притерты к поверхности контактных колец и отрегулированы. Поверхность контактных колец должна быть шлифованной. Бой колец не должен превышать 0,1 *мм* при скорости вращения 1 500—3 000 *об/мин* и 0,2 *мм* при 1 000 *об/мин* и менее.

Механизм короткого замыкания контактных колец должен обеспечивать надежный контакт на всех фазах.

Поверхности ножей и губок должны быть отрегулированы так, чтобы переключение можно было свободно

произвести от руки. Оба положения короткозамыкающего механизма должны быть устойчивыми.

3. Подшипники должны работать спокойно без стука и течи масла. Подшипники качения должны быть заполнены смазкой. Температура подшипников скольжения при нагрузке не должна превышать 80° С (температура масла при этом не должна быть более 65° С), а подшипников качения — 100° С.

4. Предельные отклонения оси установочных отверстий должны соответствовать указанным в ГОСТ 8592-66.

5. Максимальная вибрация в любой точке не должна превышать:

0,05 *мм* — при скорости вращения электродвигателя 3 000 *об/мин*;

0,1 *мм* — при скорости вращения электродвигателя 1 500 *об/мин*;

0,12 *мм* — при скорости вращения электродвигателя 1 000 *об/мин* и менее.

При спокойной работе электродвигателя измерение вибрации не обязательно.

Кроме указанного, отремонтированные электродвигатели должны выдержать электрические испытания и пройти электрические проверки, описание которых приводится ниже.

6-2. ИСПЫТАНИЯ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Если при ремонте электродвигателя не были изменены его параметры, то объем испытаний включает все контрольные испытания по ГОСТ 183-66:

а) измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками;

б) измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии;

в) определение коэффициента трансформации (для электродвигателей с фазовым ротором);

г) испытание изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность;

д) испытание межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность;

е) определение тока и потерь холостого хода;

ж) определение тока и потерь короткого замыкания.

При ремонтах, связанных с изменением номинальных параметров, производятся дополнительные специальные испытания на нагревание при повышенной скорости вращения, на кратковременную перегрузку и другие — в зависимости от того, какие из параметров электродвигателя были изменены при ремонте.

Методика проведения испытаний, схемы включения измерительных приборов и пускорегулирующей аппаратуры, способы подсчета отдельных потерь определяются ГОСТ 7217-66 и подробно освещаются в специальной технической литературе.

Ниже приводятся сокращенные сведения, касающиеся контрольных испытаний, которым должны подвергаться все выпускаемые из ремонта электродвигатели вне зависимости от объема произведенного ремонта.

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками производится мегомметром на 500 *в* для электродвигателей напряжением до 500 *в* и мегомметром на 1 000—2 500 *в* для электродвигателей выше 500 *в*.

Сопротивление изоляции при рабочей температуре электродвигателя должно быть не менее значения, получаемого по формуле (но не менее 0,5 *Мом*):

$$r = \frac{U}{1\,000 + \frac{P}{100}}, \ Мом,$$

где U — номинальное напряжение обмотки электродвигателя, *в*;
P — номинальная мощность электродвигателя, *ква*.

При измерении сопротивления изоляции при температуре ниже рабочей полученное по этой формуле сопротивление изоляции следует удваивать на каждые 20° С (полные или неполные) разности между рабочей температурой и той температурой, при которой выполнено измерение.

Практически для электродвигателей напряжением до 500 *в* включительно при исправной сухой изоляции обмоток значение сопротивления изоляции бывает значительно выше, чем требуемое согласно приведенной формуле.

Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе производится с целью выявления обрывов в обмотке, дефектных паек, неправильного соединения схемы, провода завышенного или заниженного сечения, короткого замыкания между витками, а также для определения температуры обмотки электродвигателя при испытании его на нагрев.

Измерение сопротивления производится при помощи измерительных мостов или методом амперметра-вольтметра.

Способы замеров при помощи мостов, как правило, излагаются в описаниях мостов.

Схемы измерения по методу амперметра-вольтметра приведены на рис. 6-1.

При измерении малых ($R_x \leqslant \sqrt{r_а r_в}$) сопротивлений (рис. 6-1, *а*) его величина определится:

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{r_в}}, \ ом.$$

При измерении больших ($R_x \geqslant \sqrt{r_а r_в}$) сопротивлений (рис. 6-1, *б*) величина сопротивления составит:

$$R_x = \frac{U - I r_а}{I}, \ ом,$$

где R_x — величина измеряемого сопротивления, *ом*;
U — напряжение аккумуляторной батареи, *в*; измерение производится на низком напряжении 2—24 *в*;
I — ток аккумуляторной батареи, *а*; величина тока, проходящего через сопротивление, должна быть не более 20% номинального во избежание искажения результатов измерения вследствие нагрева сопротивления;
$r_а$ — внутреннее сопротивление амперметра, *ом*;
$r_в$ — внутреннее сопротивление вольтметра, *ом*.

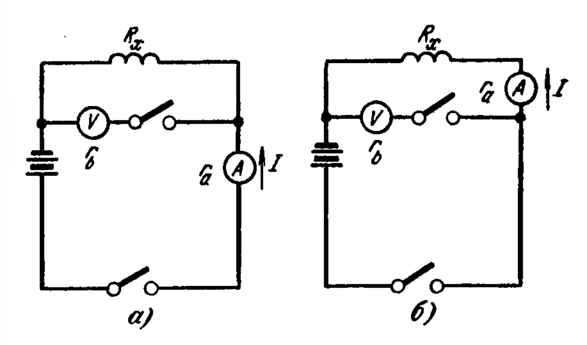


Рис. 6-1. Измерение сопротивления при постоянном токе.

а — измерение малых сопротивлений; *б* — измерение больших сопротивлений.

В тех случаях, когда по сравнению с измеряемым сопротивлением внутреннее сопротивление вольтметра очень велико, а внутреннее сопротивление амперметра очень мало, в первой из приведенных формул можно пренебречь величиной $U/r_в$, а во второй — величиной $Ir_а$. В этих случаях с достаточной для практики точностью вычисление как больших, так и малых сопротивлений можно производить по формуле:

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

Определение величины сопротивления каждой из фаз трехфазной обмотки в случае, если концы фаз не выведены и «нулевая»

точка недоступна, производится косвенным методом. Для этого следует замерять сопротивления между каждой парой выводных концов (r_{1-2}; r_{2-3}; r_{3-1}). Если эти сопротивления равны, то сопротивление каждой фазы (r_1; r_2; r_3) составляет:

при соединении фаз в звезду (рис. 6-2,*а*)

$$r_1 = r_2 = r_3 = \frac{r_{1-2}}{2} = \frac{r_{2-3}}{2} = \frac{r_{3-1}}{2};$$

при соединении фаз в треугольник (рис. 6-2,*б*)

$$r_1 = r_2 = r_3 = 1{,}5 r_{1-2} = 1{,}5 r_{2-3} = 1{,}5 r_{3-1}.$$

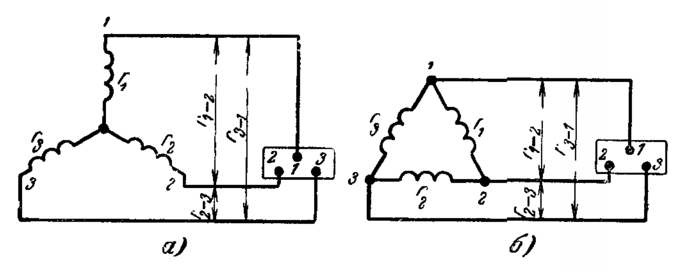


Рис. 6-2. Измерение сопротивления фаз обмотки.
а — при соединении в звезду; *б* — при соединении в треугольник.

Если измеренные сопротивления на выводах отличаются между собой, то сопротивление каждой фазы обмотки составляет:

при соединении фаз в звезду

$$r_1 = \frac{r_{1-3} + r_{1-2} - r_{2-3}}{2}; \quad r_2 = \frac{r_{1-2} + r_{2-3} - r_{3-1}}{2};$$

$$r_3 = \frac{r_{2-3} + r_{3-1} - r_{1-2}}{2};$$

при соединении фаз в треугольник

$$r_1 = \frac{2 r_{2-3} r_{3-1}}{r_{2-3} + r_{3-1} - r_{1-2}} - 0{,}5 (r_{2-3} + r_{3-1} - r_{1-2});$$

$$r_2 = \frac{2 r_{3-1} r_{1-2}}{r_{3-1} + r_{1-2} - r_{2-3}} - 0{,}5 (r_{3-1} + r_{1-2} - r_{2-3});$$

$$r_3 = \frac{2 r_{1-2} r_{2-3}}{r_{1-2} + r_{2-3} - r_{3-1}} - 0{,}5 (r_{1-2} + r_{2-3} - r_{3-1}).$$

Измерение сопротивлений производится при практически установившейся температуре, т. е. когда изменение температуры какой-либо части электродвигателя не превышает 1° С в течение 1 *ч*.

При измерении сопротивления в «холодном состоянии» температура какой-либо части электродвигателя не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на ±3° С.

Величина измеренного при какой-либо температуре сопротивления пересчитывается (приводится) к его величине при 15° С по формуле:

для медных обмоток

$$r_{15} = r \frac{250}{235 + t}, \; ом,$$

для алюминиевых обмоток

$$r_{15} = r \frac{260}{245 + t}, \; ом,$$

где r_{15} — величина сопротивления, приведенного к 15° С, *ом*;
r — измеренная величина сопротивления, *ом*;
t — температура обмотки при измерении.

При измерении сопротивлений пользуются приборами класса точности не ниже 0,5.

Допустимое отклонение величины сопротивления отдельных фаз не должно превышать ±3% среднеарифметического значения из трех последовательно произведенных измерений.

Определение коэффициента трансформации (для электродвигателей с фазовым ротором). Целью испытания является проверка правильности числа витков в обмотке статора и обмотке ротора.

Измерение производится при разомкнутой обмотке ротора при питании обмотки статора от номинального напряжения. Если ожидаемое напряжение между контактными кольцами находится в пределах 500—600 *в*, то измерение этого напряжения производится непосредственно двумя игольчатыми щупами, прикладываемыми к контактным кольцам. Если же ожидаемое напряжение больше 500—600 *в*, то измерение напряжения между кольцами производится при помощи трансформаторов напряжения.

Коэффициент трансформации определяется из формулы

$$k_т = \frac{U_{ф.с}}{U_{ф.р}},$$

где $U_{ф.с}$ — фазовое напряжение обмотки статора, вычисленное как средняя величина при трех замерах линейного напряжения, *в*;
$U_{ф.р}$ — фазовое напряжение обмотки ротора, вычисленное как средняя величина при трех замерах напряжения между контактными кольцами, *в*.

Допустимое отклонение коэффициента трансформации от расчетного не должно превышать ±2%.

Испытание изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность. Изоляция обмоток относительно корпуса и между обмотками должна выдержать без повреждения в течение 1 *мин* испытательное напряжение частотой 50 *гц*, практически синусоидальное согласно табл. 6-1.

При частичном ремонте обмотки испытательное напряжение составляет 130% номинального, но не менее 50% указанного в табл. 6-1.

Повышенное напряжение подается на испытуемую обмотку от специального трансформатора с плавной регулировкой напряжения от реостата или потенциометра или любого другого устройства,

установленного в цепи первичной обмотки трансформатора. Мощность трансформатора должна составлять не менее 1 *ква* на каждый киловольт испытательного напряжения.

Таблица 6-1

Испытательное напряжение изоляции

№ п/п.	Характеристика электродвигателя или его части	Испытательное напряжение
1	Электродвигатели мощностью менее 1 *квт* на номинальное напряжение ниже 100 *в*	500 *в* плюс двукратное номинальное напряжение
2	Электродвигатели мощностью от 1 *квт* и выше на номинальное напряжение ниже 100 *в*	1 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение
3	Электродвигатели мощностью до 1 000 *квт*, кроме перечисленных в п. 1 и 2	То же, но не менее 1 500 *в*
4	Электродвигатели мощностью от 1 000 *квт* и выше на номинальное напряжение:	
	до 3 300 *в*	1 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение
	свыше 3 300 до 6 600 *в*	2,5-кратвое номинальное напряжение
	свыше 6 600 *в*	3 300 *в* плюс двукратное номинальное напряжение
5	Обмотки роторов фазовых электродвигателей, предназначенные для торможения противовключением	1 000 *в* плюс четырехкратное номинальное напряжение обмотки ротора
6	То же, но непредназначенные для торможения противовключением	1 000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение обмотки ротора

Если у обмотки электродвигателя выведены начало и концы фаз, то поочередно испытывается изоляция каждой фазы. Для этого один полюс испытательного трансформатора подключается к испытуемой фазе, а другой полюс трансформатора (заземленный) — к заземлениому корпусу электродвигателя, к которому присоединяются две другие фазы обмотки. Если выведены только начала фаз, то напряжение подается на обмотку и на заземленный корпус электродвигателя.

Испытание начинается напряжением, составляющим $^1/_3$ от полного значения испытательного напряжения. Далее плавно, или ступенями, не превышающими 5% полного значения, напряжение доводится до требуемой величины. После выдержки напряжения в течение 1 *мин* оно плавно снижается до $^1/_3$ полного значения и отключается.

Изоляция обмотки считается выдержавшей испытание, если во время испытания не произошло пробоя изоляции, что обнаруживается по падению напряжения в цепи испытательного трансформатора,

повышению потребляемого тока, появлению разрядов, искр и дыма.

Испытание электрической прочности изоляции производится после опыта короткого замыкания, испытания на нагрев и испытания электродвигателя при повышенной скорости вращения. Если эти испытания не производятся, то изоляция испытывается в холодном состоянии электродвигателя.

Испытание межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность. Изоляция обмотки между смежными ее витками должна выдержать в течение 5 *мин* испытание повышенным напряжением. Это испытание производится путем повышения подводимого напряжения на 30% сверх номинального. Электродвигатели с фазовым ротором испытывают при неподвижном и разомкнутом роторе, а электродвигатели с короткозамкнутым ротором — при холостом ходе.

Для электродвигателей с многовитковыми секциями с номинальным напряжением до 660 *в* включительно допускается применение испытательных устройств, основанных на принципе использования напряжения повышенной частоты.

Определение тока и потерь холостого хода. Опыт холостого хода дает возможность обнаружить некоторые нарушения при ремонте:

1. Увеличение тока и потерь холостого хода сверх норм может быть при заложении в пазы меньшего числа витков или при недоборе листов при перешихтовке стали сердечника, при аксиальном смещении ротора по отношению к статору.

2. Увеличение тока холостого хода при нормальных потерях холостого хода может быть следствием увеличенного воздушного зазора.

3. Нормальный ток холостого хода при увеличенных потерях холостого хода может быть из-за механических причин: при повышением трения в подшипниках и при неправильной посадке вентиляторов.

Опыт холостого хода должен производиться при устойчивых, симметричных и практически синусоидальных линейных напряжениях, а также при стабильной частоте.

При снятии характеристики холостого хода (зависимости тока холостого хода от приложенного к обмотке напряжения) при частоте, отличающейся от номинальной, в результаты должна быть внесена поправка:

$$U'_0 = \frac{f_н}{f_н + \Delta f} U_0, \ в,$$

где U'_0 — действительное значение напряжения, *в*;

U_0 — замеренное значение напряжения, *в*;

$f_н$ — номинальная частота, *гц*;

Δf — величина, на которую измеренная частота отличается от номинальной, *гц*.

Ток холостого хода является ненормируемой величиной. При оценке результатов опыта можно пользоваться данными табл. 6-2, в которой приведены предельные значения тока холостого хода для электродвигателей мощностью до 100 *квт*.

Неравномерность тока холостого хода по отдельным фазам не должна превосходить 4,5% их среднего значения. При определении

потерь холостого хода, т. е. потерь в стали и механических потерь, если опыт производится при частоте, отличающейся от номинальной, в полученные результаты должна быть внесена поправка:

$$P'_{x.x} = \frac{f_н}{f_н + 2\Delta f} P_{x.x}, \; вт,$$

где $P'_{x.x}$ — действительное значение потерь холостого хода, *вт*;
$P_{x.x}$ — замеренное значение потерь холостого хода, *вт*.

Таблица 6-2

Предельные величины тока холостого хода электродвигателей в процентах от номинального тока

Мощность электродвигателя, *квт*	Скорость вращения, *об/мин*					
	3 000	1 500	1 000	750	600	500
0,1—0,5	60	75	85	90	95	—
0,51—1,0	50	70	75	80	85	90
1,1—5,0	45	65	70	75	80	85
5,1—10,0	40	60	65	70	75	80
10,1—25,0	30	55	60	65	70	75
25,1—50,0	20	50	55	60	65	70
50,1—100	—	40	45	50	55	60

Измерение мощности холостого хода электродвигателей производится по общеизвестной схеме двух ваттметров, включаемых в сеть либо непосредственно для низковольтных электродвигателей малой мощности, либо через измерительные трансформаторы тока и напряжения для мощных электродвигателей высокого напряжения.

В последнем случае в связи с тем, что при измерении cos φ и потребляемый ток очень низки, не следует пользоваться стационарно установленными трансформаторами тока, так как они будут работать в неблагоприятных условиях, что может привести к недопустимой угловой погрешности. Следует применять специальные трансформаторы с приборами класса точности не ниже 0,5, подобранными таким образом, чтобы измеряемые значения находились в пределах 20—95% шкалы, а также малокосинусные ваттметры.

Перед опытом холостого хода электродвигатели должны быть обкатаны, т. е. проработать без нагрузки в течение:

0,5—1 *ч* — для электродвигателей мощностью до 100 *квт*;

2 *ч* — для электродвигателей мощностью свыше 100 *квт*.

Определение тока и потерь короткого замыкания. Опыт короткого замыкания позволяет проверить пайки в обмотке, а также выявить дефекты беличьих клеток короткозамкнутых роторов. В последнем случае токи короткого замыкания будут неодинаковыми по фазам и изменяться при проворачивании ротора. По результатам опыта можно также определить пусковой ток и начальный пусковой момент электродвигателя.

Схема включения приборов при опыте короткого замыкания, а также класс их точности такие же, как при опыте холостого хода.

При опыте короткого замыкания к обмотке статора подводится пониженное напряжение. Ротор электродвигателя затормаживается, а у фазовых роторов закорачиваются контактные кольца. Источником питания является потенциал-регулятор, или трансформатор с регулируемым напряжением.

Так же как и при опыте холостого хода, при опыте короткого замыкания для получения правильных результатов подводимое напряжение должно быть симметричным по фазам и практически синусоидальным. Величина подводимого напряжения в зависимости от номинального напряжения электродвигателя, при котором в обмотке статора будут протекать токи, близкие к номинальным, составляет:

Номинальное напряжение электродвигателя, *в*	127	220	380	500	3 000	6 000
Напряжение короткого замыкания, *в*	33	58	100	130	800	1 600

В соответствии с ГОСТ 7217-66 токи короткого замыкания являются нормированной величиной. Потери короткого замыкания не нормированы, но они существенно влияют на величину пускового момента.

Опыт короткого замыкания в необходимых случаях обычно совмещают с испытанием электродвигателя на перегрузку по току, которая в соответствии с ГОСТ 183-66 составляет:

для электродвигателей до 0,6 *квт* — $1{,}5 I_{ном}$ в течение 1 *мин*;

для электродвигателей свыше 0,6 *квт* — $1{,}5 I_{ном}$ в течение 2 *мин* ($I_{ном}$ — номинальный ток электродвигателя).

При опыте необходимо обратить внимание на надежность способа затормаживания ротора, в частности на соответствие расположения хомутов, скоб и других деталей, удерживающих ротор от проворачивания, с направлением вращения ротора.

На отремонтированных электродвигателях рядом со старым заводским щитком должен быть укреплен новый щиток, на котором указываются:

а) наименование ремонтного предприятия;
б) тип электрической машины;
в) мощность;
г) напряжение;
д) номинальный ток;
е) скорость вращения;
ж) напряжение на кольцах ротора;
з) ток ротора;
и) коэффициент мощности;
к) коэффициент полезного действия;
л) ремонтный номер или номер заказа;
м) дата выпуска из ремонта.

Если щиток завода-изготовителя находится в хорошем состоянии и электродвигатель отремонтирован без изменения параметров, допускается установка щитка с указанием только пунктов «а», «л» и «м».

ЛИТЕРАТУРА

1. Альбом технологических карт на ремонт трехфазных электродвигателей, издание ГОСИНТИ, 1957.

2. Бабенко Д. А., Тепленко С. И., Чибишев Л. Д., В помощь электрику-обмотчику асинхронных электродвигателей, изд-во «Энергия», 1965.

3. Баннов С. Е., Ремонт электрооборудования металлургических заводов, Металлургиздат, 1957.

4. Барембо К. Н., Бернштейн Л. М., Сушка, пропитка и компаундирование обмоток электрических машин, изд-во «Энергия», 1967.

5. Бернштейн Л. М., Изоляция электрических машин общепромышленного применения, изд-во «Энергия», 1965.

6. Вартанов Г. Л., Вернер В. В., Серебряков В. М., Электромонтер-ремонтник, изд-во «Высшая школа», 1967.

7. Виноградов Н. В., Производство электрических машин, Госэнергоиздат, 1961.

8. Готман П. Е., Березин В. Б., Хайкин А. М., Электротехнические материалы, Справочник, изд-во «Энергия», 1969.

9. Жерве Г. К., Расчет асинхронного двигателя при ремонте, изд-во «Энергия», 1967.

10. Жерве Г. К., Промышленное испытание электрических машин, Госэнергоиздат, 1959.

11. Жерве Г. К., Руководство для электромонтеров по испытанию электрических машин, Госэнергоиздат, 1955.

12. Зимин В. И., Каплан Н. Я., Палей А. М., Рабинович И. Н., Федоров В. П., Хаккен П. А., Обмотки электрических машин, Госэнергоиздат, 1961.

13. Коварский Е. М., Ремонт электрических машин, Госэнергоиздат, 1960.

14. Кокорев А. С., Наумов И. Н., Справочник молодого обмотчика электрических машин, изд-во «Высшая школа», 1964.

15. Кравчик Э. Д., Расчет обмоток низковольтных асинхронных двигателей при ремонте, ЦБТИ МЭП, 1936.

16. Мандрыкин С. А., Ремонт электродвигателей, изд-во «Энергия», 1965.

17. Маршак Е. Л., Уманцев Р. Б., Схемы обмоток статоров, изд-во «Энергия», 1967.

18. Маршак Е. Л., Ремонт обмоток статоров электрических машин переменного тока, изд-во «Энергия», 1966.

19. Никулин Н. В., Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям, изд-во «Высшая школа», 1967.

20. Организация и технология ремонта электрических машин, Московский дом научно-технической пропаганды, 1959.

21. Обмоточные данные асинхронных двигателей, Конструкторско-технологическое бюро «Электропромремонта», под ред. П. И. Цибулевского, изд-во «Энергия», 1966.

22. Пястолов А. А., Шац Е. Л., Блюмберг В. А., Эксплуатация и ремонт электрооборудования, изд-во «Колос», 1966.

23. Рубо Л. Г., Маршак Е. Л., Монтаж обмоток электрических машин высокого напряжения, изд-во «Энергия», 1964.

24. Рубо Л. Г., Пересчет и ремонт асинхронных двигателей мощностью до 100 *квт*, Госэнергоиздат, 1961.

25. Слоним Н. М., Применение алюминиевых проводов при ремонте электродвигателей, издание ГОСИНТИ, 1962.

26. Смирнов М. В., Контроль и испытание обмоток электрических машин и аппаратов, Госэнергоиздат, 1959.

27. Третьяков М. И., Испытание электродвигателей малой мощности, изд-во «Энергия», 1966.

28. Уманцев Р. Б., Конструкции и ремонт короткозамкнутых обмоток роторов крупных двигателей, изд-во «Энергия», 1967.

29. Швед В. И., Афонин В. Д., Болдинский З. И., Ремонт и испытание крупного электрооборудования, Госиздат Уз. ССР, 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 91 коп.